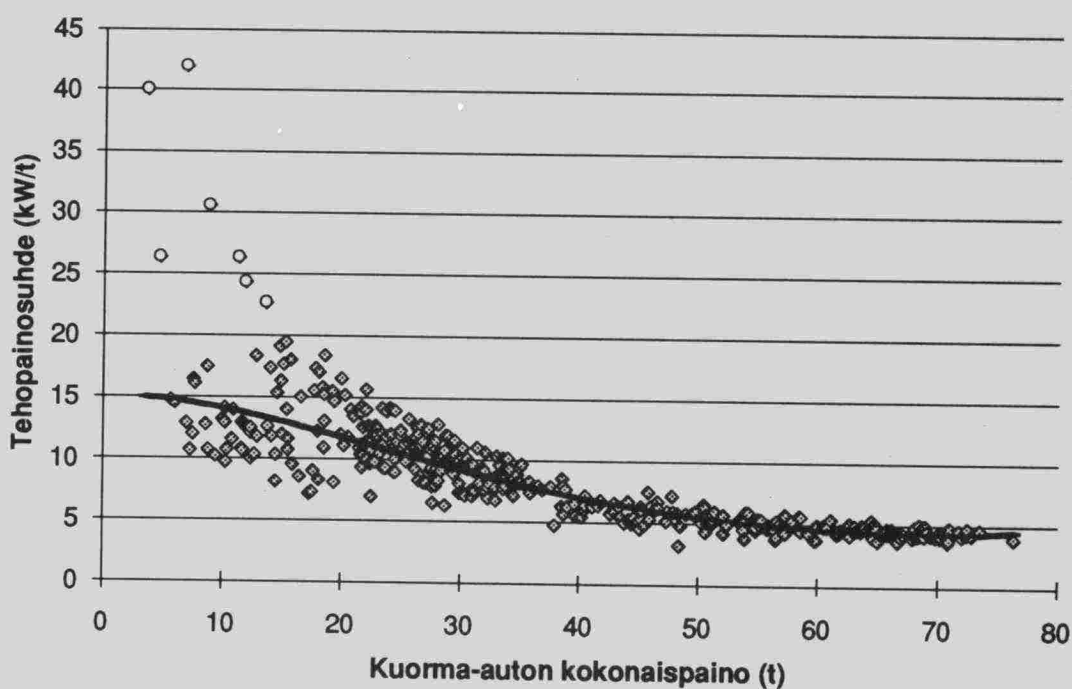




Tielaitos

Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen



Tielaitoksen
selvityksiä

42/1991

Helsinki 1991

Tiehallitus
Kehittämiskeskus

08 TIEH



Tielaitos
Tiehallituksen kirjasto

Doknro: 911936
Nidenro: 912511

Tielaitoksen selvityksiä
42/1991

Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen

Tielaitos
Tiehallitus, kehittämiskeskus

Helsinki 1991

ISBN 951-47-4993-6
ISSN 0788-3722
TIEL 3200038
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1991

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos

Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 1541

JAKONEN, Jari: Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen. Helsinki 1991, Tiehallitus, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 42/1991, 76 s. + liitt. 1 s., ISBN 951-47-4993-6, ISSN 0788-3722, TIEL 3200038.

Asiasanat kuorma-auto, liikennevirta, välityskyky

Tiivistelmä

Suomessa on asukasta kohti laskettu kuljetussuorite kolminkertainen OECD-maiden keskiarvoon verrattuna. Kuljetuskustannusten osuus tuotteiden arvosta on kotimaahan jäävissä tuotteissa 8-10 % ja vientituotteissa 10-15 %. Suomen kotimainen tavaraliikenne oli vuonna 1989 37.6 mrd. tonnikipilometriä, josta autoilla kulki 25.7 mrd. tonnikipilometriä (68 %).

Suomessa ja Ruotsissa sallitaan ajoneuvoille suuremmat kokonaispainot ja pituudet kuin muualla Euroopassa. Nämä määräykset joutunevat jatkossa kriittisen tarkastelun kohteiksi.

Koska kuorma-autot ovat kookkaita ja vaativat siten suuren tilan kääntyessään sekä ovat suoritussyvytään heikompia kuin henkilöautot, asettavat ne rajaehdot liikennesuunnittelulle monessa eri suhteessa.

Tehopainosuhte, jolla tarkoitetaan ajoneuvon moottorin tehoa (kW) jaettuna sen kokonaispainolla (t), on ajoneuvon suoritussykyyn vaikuttavista tekijöistä tärkein. Jos ajoneuvojen tehopainosuhte on sama, voidaan olettaa, että niiden suoritussyky liikenteessä on samanlainen.

Kuorma-autot eivät monissa tilanteissa pysty ylläpitämään samaa nopeutta kuin henkilöautot, joten liikennevirtaan muodostuu välejä, joiden täyttäminen ohituksilla on hankalaa. Kaikista raskaista ajoneuvoista noin kolmannes on jononjohtajia.

Ajoneuvokoostumukseltaan erilaiset liikennevirrat saadaan vertailukelpoisiksi muuttamalla eri ajoneuvoryhmien liikennemäärät henkilöautoyksiköiksi tietyillä vastaavuuskertoimilla. Kunkin ajoneuvotyypin vastaavuuskertoimen arvo on riippuvainen tarkasteltavasta liikennetilanteesta. Kun jonkun raskaaksi liikenteeksi laskettavan ajoneuvotyypin suhteellinen osuus liikennevirrassa kasvaa, eivät muutokset liikenteen koostumuksessa heijastu sellaisissa laskentamenetelmissä, joissa raskaan liikenteen vaikutus on otettu huomioon prosenttiosuutena liikennevirrasta.

Tutkimuksen mittauspaikalla valtatie 7:llä Porvoon Ritassa havaituista kuorma-autoista 21 % ylitti suurimman sallitun kokonaispainon. Ohituskaistojen suunnittelussa käytetyn mitoitusajoneuvon tehopainosuhte on 5.4 kW/t. Ritassa tehtyjen havaintojen perusteella 30 % kuorma-autoista alitti tämän tehopainosuhteen. Kun ajoneuvoasetuksen tehopainosuhtevaatimus on 4.4 kW/t, oli aineistossa 11 % sellaisia kuorma-autoja, joiden tehopainosuhte oli alle 4.4 kW/t.

Ritan havaintoaineistoon perustuen muodostettiin malli, jossa kuorma-auton tehopainosuhdetta on selitetty kokonaispainon avulla.

Alkusanat

Raskaan liikenteen ominaisuudet ja vaikutukset muuhun liikenteeseen ovat erilaiset kuin henkilöautoliikenteellä. Tässä työssä on tarkasteltu kuorma-autojen määrien ja liikennesuoritteiden kehitystä sekä kuorma-autojen suorituskyykyyn vaikuttavia tekijöitä. Kuorma-autojen vaikutusta liikennevirran ominaisuuksiin ja liikenteenvälityskyykyyn on tarkasteltu sekä liittymissä että linjaosuuksilla. Työ on tehty esiselvitykseksi jatkotutkimuksille.

Selvityksen on laatinut dipl. ins. *Jari Jakonen* tiehallituksen kehittämiskeskuksessa, jossa työtä on ohjannut dipl. ins. *Tenho Aarnikko*.

Helsingissä syyskuussa 1991

Tiehallitus
Kehittämiskeskus

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ**ALKUSANAT**

1 LÄHTÖKOHDAT	9
1.1 Kuorma-autoliikenteen merkitys	9
1.2 Kuorma-autojen merkitys liikennesuunnittelussa	10
1.3 Kuorma-autojen mitat ja painomääräykset	10
1.3.1 Nykytilanne Suomessa	10
1.3.2 Uusien painomääräysten tausta	10
1.3.3 Mitat ja painot EY:ssä	12
2 SELVITYKSEN RAJAUS	13
3 KUORMA-AUTOJEN JA PERÄVAUNUJEN MÄÄRÄT	14
3.1 Nykytilanne	14
3.2 Ennuste	17
4 KUORMA-AUTOJEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	17
4.1 Tehopainosuhte	17
4.1.1 Suunnittelussa käytetyt tehopainosuhteet	17
4.1.2 Tehopainosuhteen kehitys	18
- Moottorien tehot	18
- Kokonaispainot	20
- Tehopainosuhteen keskimääräinen kehitys	22
- Tehopainosuhteet ulkomailla	24
4.2 Muut tekijät	25
5 KUORMA-AUTOT LIIKENNEVIRRASSA	26
5.1 Yleistä	26
5.2 Liikenteen koostumus ja vaihtelumuodot	26
5.2.1 Nykytilanne	26
5.2.2 Ennuste	30
5.3 Kuorma-autojen nopeudet	32
5.3.1 Yleiskehitys ja nopeusarvot	32
5.3.2 Matkanopeudet	33
5.3.3 Nopeusmallit	35
5.3.4 Nopeudet nousuissa	38
5.4 Ohitukset	39
5.5 Jononmuodostus	40
5.6 Palvelutason käsite	43
5.7 Henkilöautoyksikön käsite	43

5.7.1 Yleistä	43
5.7.2 Laskentamenetelmät	44
- Tielinja	44
- Tasoliittymä	45
6 KUORMA-AUTOT JA LIIKENTEENVÄLITYSKYKY	45
6.1 Yleistä	45
6.2 Kaksikaistaiset tiet	45
6.2.1 Yleistä	45
6.2.2 Yhtäjaksoiset tieosuudet	48
6.2.3 Erilliset nousut	51
6.2.4 Kirjallisuustarkastelu	51
6.2.5 Ohituskaistat	52
- Nykyinen menetelmä	52
- Kirjallisuustarkastelu	53
6.3 Valo-ohjaamaton tasoliittymä	56
6.3.1 Nykyinen menetelmä	56
6.3.2 Kirjallisuustarkastelu	59
6.4 Valo-ohjattu tasoliittymä	60
6.4.1 Nykyinen menetelmä	60
6.4.2 Kirjallisuustarkastelu	63
7 TUTKIMUKSET	65
7.1 Mittaukset	65
7.1.1 Mittausjärjestelyt ja aineiston käsittely	65
7.1.2 Tulokset	66
7.2 Ajoneuvorekisterin tiedot	69
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	72
9 KIRJALLISUUSLUETTELO	73
10 LIITE	

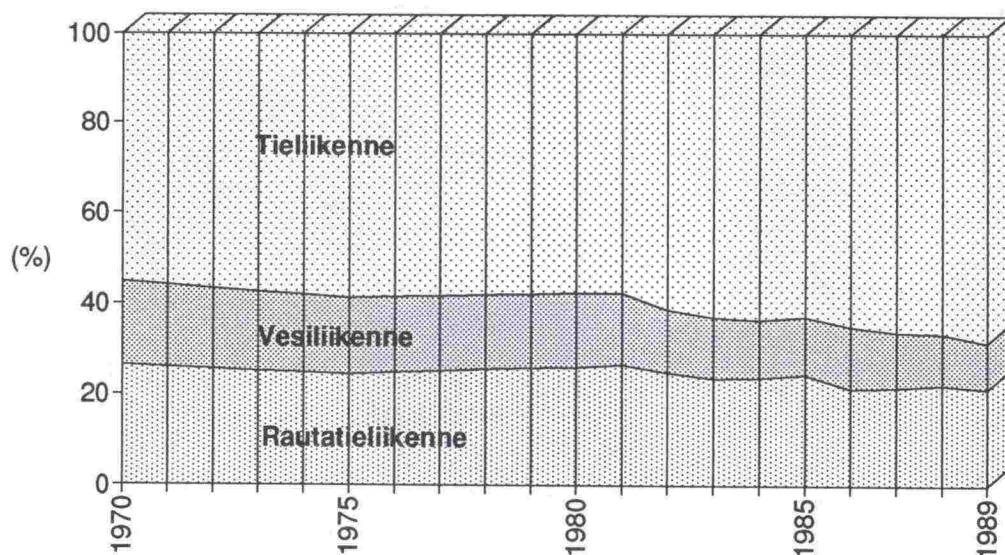
1 LÄHTÖKOHDAT

1.1 Kuorma-autoliikenteen merkitys

Suomessa on asukasta kohti laskettu kuljetussuorite kolminkertainen OECD-maiden keskiarvoon verrattuna. Kuljetuskustannusten osuus tuotteiden arvosta on kotimaahan jäävissä tuotteissa 8-10 % ja vientituotteissa 10-15 %. Suomen kotimainen tavaraliikenne oli vuonna 1989 37.6 mrd. tonnikilometriä, josta autoilla kulki 25.7 mrd. tonnikilometriä (68%). Taulukkoon 1 on kirjattu kotimaan tavarankuljetussuorite vuosina 1970-1989 /Liikennetilastollinen ... 1990/. Kuvassa 1 on esitetty kotimaan tavaraliikenteen kuljetussuoritejakautuma vuosina 1970-1989.

Taulukko 1: Kotimaan tavarankuljetussuorite vuosina 1970-1989 /Liikennetilastollinen ... 1990/.

	mrd. tkm.							
	1970	1975	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Rautatieliikenne	6.3	6.4	8.3	8.1	7.0	7.4	7.8	8.0
Tieliikenne	13.2	15.4	18.4	20.8	21.4	22.7	23.5	25.7
Vesiliikenne	4.4	4.4	5.2	4.2	4.5	4.2	4.0	3.9
Yhteensä	23.8	26.2	31.9	33.0	32.8	34.3	35.3	37.6



Kuva 1: Suomen tavaraliikenteen kuljetussuoritejakautuma vuosina 1970-1989 /Liikennetilastollinen ... 1990/.

Kuorma-autojen lukumäärä on pysynyt usean vuoden ajan lähes muuttumattomana lukuunottamatta vuotta 1989, jolloin kanta kasvoi lähes 3 % ja oli vuoden 1989 lopussa 53 800 autoa. Kuorma-autojen rakenne on kuitenkin kehittynyt järeämmäksi muuttuneiden paino-, mitta- ja kuormitusmääräysten seurauksena. Perävaunulliset raskaat kuorma-autot ovat osittain korvanneet kevyemmät perävaunuttomat kuorma-autot. Täysperävaunullisia kuorma-

autoja on nyt noin kolmannes koko kuorma-autokannasta. Ne hoitavat valtaosan tavaraliikenteestä /Vuosikertomus 1989/.

1.2 Kuorma-autojen merkitys liikennesuunnittelussa

Koska kuorma-autot ovat kookkaita ja vaativat siten suuren tilan kääntyes- sään ja ovat lisäksi suorituskyvyltään heikompia kuin henkilöautot, asettavat ne rajaehdot liikennesuunnittelulle monessa eri suhteessa. Raskaiden ajoneu- vojen läsnäolo vaikuttaa myös muiden kuljettajien käyttäytymiseen. Liiken- nesuunnittelun eri osa-alueita, joissa raskaan liikenteen ominaisuudet on otettava huomioon, ovat:

- näkemät ja ohitusmahdollisuudet nopeilla väylillä (≥ 80 km/h) sekä ohituskiel- toalueet
- nousut
- liittymien mitoitus ja välityskyky sekä liikennevalojen ajoitus
- eritasoliittymät ja rampit
- tien luiskat ja suojalaitteet
- liikenteenohjauslaitteiden käyttö
- liikenneturvallisuus
- rautateiden tasoristeykset
- teiden välityskyky.

1.3 Kuorma-autojen mitat ja painomääräykset

1.3.1 Nykytilanne Suomessa

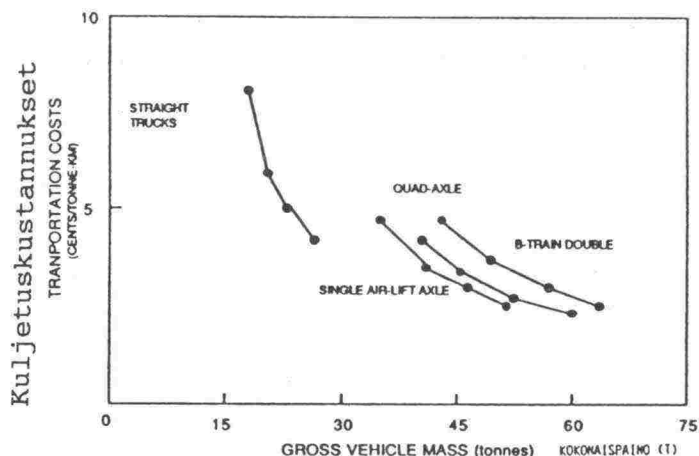
Vuoden 1990 alusta korotettiin sallittu kokonaispaino seitsemänakselisilla ajoneuvoyhdistelmillä 56 tonniin. Kuusiakselisten yhdistelmien sallittu koko- naispaino on 48 tonnia. Ajoneuvon suurin sallittu leveys on Suomessa 2.6 m ja korkeus 4.0 m. Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun muodostaman yhdistelmän suurin sallittu pituus on 22 m. Kuorma-autojen suurimmat sallitut mitat ja painot on määriteltä ajoneuvoasetuksessa. Käytännössä sallittuihin mittoihin ja painoihin vaikuttavat useat eri säädökset, jotka ovat kootusti esitetty Suomen Kuorma-autoliiton julkaisemina /Kuorma-autojen ... 1990/.

Tieliikenteen ajoneuvojen erilaisuus on otettava huomioon lukuisissa koko liikennesysteemiä koskevilla turvallisuus- ja suunnittelukysymyksissä.

1.3.2 Uusien painomääräysten tausta

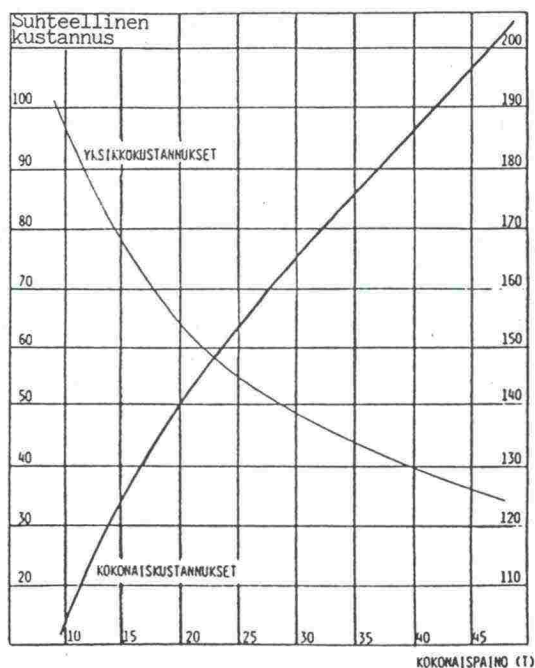
Vuoden 1990 kokonaispainojen korotuksen taustana oli kuljetuskustannusten alentaminen, koska kerralla kuljetettavan kuorman suurentamisella voidaan alentaa suoriteyksikköä kohti laskettuja kuljetuskustannuksia sellaisissa kuljetuksissa, joissa paino- tai mittarajoitukset määräävät kuormakoon. Kuvassa 2 on esitetty kanadalaisessa tutkimuksessa /Hutchinson, Green, Haas 1989/ havaitut kuljetuskustannukset suhteessa kokonaispainoon.

Kuvassa 3 on esitetty suhteelliset yksikkö- ja kokonaiskustannukset suhteessa kokonaispainoon suomalaisten havaintojen /Lunda'n 1985/ perusteella.



Kuva 2: Kuljetuskustannukset tonnikiometriä kohden suhteessa ajoneuvon kokonaispainoon kanadalaisen tutkimuksen mukaan /Hutchinson, Green, Haas 1989/.

Suomessa arvioitiin vuoden 1990 alusta alkaen toteutetuilla kokonaispainojen korotuksella saavutettavaksi kuljetuskustannusten säästöksi 170-200 miljoonaa markkaa vuodessa. Hyödyt toteutuvat sitä mukaa, kun kalustoa uusitaan uusien mitoitusperusteiden mukaiseksi. Saavutettu hyöty on pysyvä eli se toteutuu joka vuosi mitoitusperusteiden pysyessä entisellään /Lampinen 1989/.



Kuva 3: Suhteelliset yksikkö- ja kokonaiskustannukset kuorma-auton kokonaispainon suhteen /Lunda'n 1985/.

Sallittujen kokonaispainojen korotuksen toinen peruste oli ylikuormituskulttuurin lopettaminen. Aikaisemmin sallittiin bulkkitavaran kuljetuksessa, jossa kuorman suuruus ei ollut riittävän tarkasti määrättävissä, kokonaispainossa 5 %:n toleranssi. Tilavuusperusteisen kuorman määrittämisen perusteena oli vaikeus määrittää massatavarasta koostuvan kuorman oikea koko sekä kuormauspaikalla että maantievalvonnassa. Järjestelmää opittiin hyödyntämään systemaattisesti, minkä vuoksi siitä luovuttiin uusien painomääräysten käyttöönoton yhteydessä. Esimerkiksi tiehallituksen akselipainotutkimuksissa on todettu kuormien jatkuvasti nousseen, vaikka sallittu kuormakoko ei ole kasvanut /Lampinen 1989/.

1.3.3 Mitat ja painot EY:ssä

EY pyrkii vuoteen 1993 mennessä luomaan neljän vapauden Euroopan, jossa ihmiset, tavarat, palvelukset ja pääomat liikkuvat vapaasti. Vapaaseen liikkumiseen tähtäävien toimien jälkeen EY:ssä on tavoitteena harmonisoida jäsenmaiden keskinäisen kilpailun ehtoja.

Kuorma-autojen paino- ja mittamääräykset ovat esimerkki tästä kaksiportaisesta etenemistavasta. EY-alueella on jo vuodesta 1986 lukien yhtenäistetty kuorma-autojen ja perävaunujen vähimmäispainot ja -mitat, jonka mukaiset ajoneuvot kaikkien on otettava toisesta EY-maasta alueelleen. Sen jälkeen kukin jäsenmaa on kansainvälisesti valinnut joko minimiarvot tai jotkin korkeammat arvot sovellettaviksi liikenteessä omalla alueellaan. Alemmat arvot eivät käytännössä tule kysymykseen, koska silloin suotaisiin kilpailuetu ulkomaisille liikennöitsijöille kotimaisiin verrattuna. Tilanne on johtanut siihen, että minimiarvoja myös kansallisen liikenteen maksimiarvoina soveltavat maat paheksuvat korkeampia arvoja soveltavia maita, joiden katsotaan valtiona hankkivan kilpailuetua suurempien mittojen ja painojen ansiosta tulevasta kustannusrationalisoinnista. Tällä vuosikymmenellä EY todennäköisesti asettaakin minimirajojen lisäksi maksimirajat. Tätä seuraava luonnollinen vaihe on sallitun alueen supistaminen lopulta yhteen arvoon. Tällöin joutuvat suomalais-ruotsalaiset yhdistelmäpaino- ja pituusmääräykset kriittisen ulkopuolisen tarkastelun kohteiksi /Lampinen 1989/.

Yksittäisissä EY-maissa sallitut suurimmat mitat ja painot ovat käytännössä lähellä EY:n minimimääräyksiä. Tanskassa sallitaan eräin rajoituksin täysperävaunullisille kuorma-autoyhdistelmille 18.5 metrin pituus. Iso-Britanniassa on asetettu korkeusrajoitus (4.2 m) vain puoliperävaunuyhdistelmille. Muiden ajoneuvojen korkeutta ei ole rajoitettu. Myöskään Irlannissa ja Ranskassa ei ajoneuvoille ole asetettu korkeusrajoitusta. Hollannissa suurin sallittu kokonaispaino on 50 tonnia ja Tanskassa 48 tonnia. Seuraavaan asetelmaan on kirjattu ajoneuvojen minimimitat ja painomääräykset EY:n alueella:

-ajoneuvoyhdistelmän pituus 18.35 m

- ajoneuvojen leveys 2.5 m (jäähdytetyllä tavaratilalla varustettu ajoneuvo 2.6 m)
- ajoneuvon korkeus 4.0 m
- ajoneuvon kokonaispaino 40 t (kuljetettaessa 40 jalan ISO-konttia yhdistetys-
sä kuljetuksessa 44 t).

2 SELVITYKSEN RAJAUS

Tässä raportissa käsitellään kuorma-autojen vaikutuksia muuhun liikenteeseen, mutta myös linja-autojen ja vapaa-ajan ajoneuvojen (matkailuautot ja -perävaunut) ominaisuudet poikkeavat henkilöautoista ja siten myös niiden vaikutukset liikenteeseen ovat erilaiset kuin henkilöautoilla. Taulukossa 2 on hahmoteltu tieliikennesysteemin ja kuorma-autojen ominaisuuksien välisiä kytkentöjä /Hutchinson, Green, Haas 1989/. Taulukkoon on ympyröity ne riippuvaisuudet, joita käsitellään tässä esityksessä.

Taulukko 2: Kuorma-autojen ominaisuuksien ja tieliikennesysteemin väliset kytkennät /Hutchinson, Green, Haas 1989/. Tässä esityksessä käsiteltävät riippuvaisuudet on ympyröity .




		TIELIIKENNESYSTEEMI									
		GEOMETRIA				LIIKEN- NEVIRTA		LIITTYMÄT			INFRA- STRUKT.
		PYSTYGEOMETRIA	NOUSUT	VAAKAGEOMETRIA	KAISTALEVEYS	VÄLITYSKYKY	TURVALLISUUS	KAARRESÄTEET	LIIKENNEVALOJEN AJ	VÄLITYSKYKY	SILLAT TIEN RAKENTEET
KUORMA-AUTOJEN OMINAISUUDET	DYNAMIIKKA	JARRUTUS	■	■			■		■		■ ■
		KORIN SISÄREUNAN KÄÄNTYMISURA			■		■	■			
		KÄÄNTYMISKITKA						■			■
	AKSELIT	AKSELIPAINO									■ ■
		AKSELIVÄLI									■ ■
		JOUSITUS									■ ■
		ILMANPAINO					■				■ ■
	MITOITUS	MITAT		■ ■	●	■	■	■	●	●	■
		PERÄVAUNUN VETOTAPA					■	■			
	KUORMA	KOKONAISPAINO					■				■ ■
		TEHOPAINOSUHDE	●			●	■		● ●		

3 KUORMA-AUTOJEN JA PERÄVAUNUJEN MÄÄRÄT

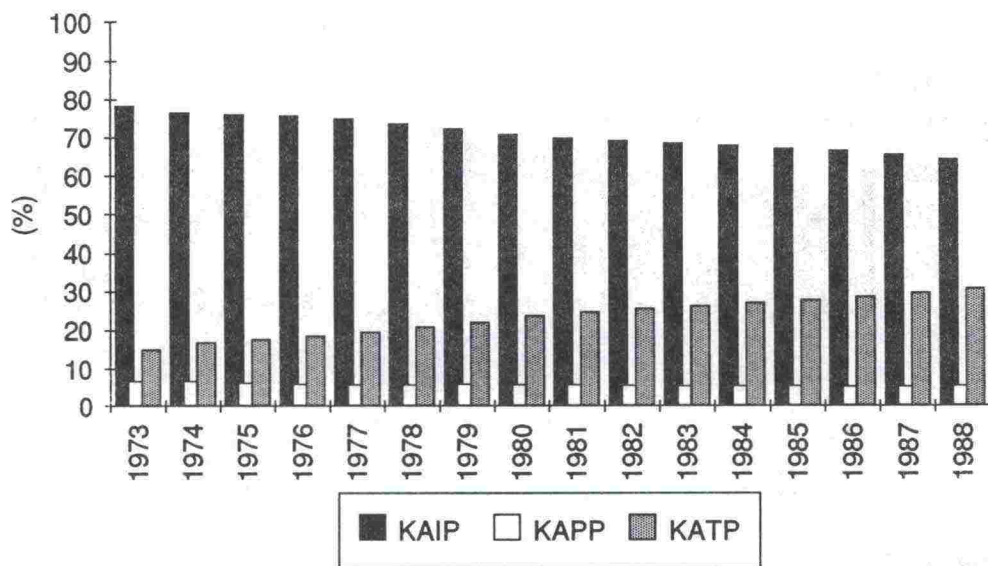
3.1 Nykytilanne

Kuorma-autojen lukumäärä on pysynyt usean vuoden ajan lähes muuttumattomana lukuunottamatta vuotta 1989, jolloin kanta kasvoi lähes 3 % ja oli vuoden 1989 lopussa 53 800 autoa. Muuttuneiden paino-, mitta- ja kuormitusmääräysten seurauksena kuorma-autokannan rakenne on kuitenkin muuttunut järeämmäksi. Taulukossa 3 on esitetty kuorma-autokannan jakautuma perävaunuttomiin, puoli- ja täysperävaunullisiin kuorma-autoihin vuosina 1973 - 1988 /Kuorma-autoliikenne Suomessa/.

Taulukko 3: Kuorma-autokannan jakautuminen perävaunuttomiin, puoli- ja täysperävaunullisiin kuorma-autoihin vuosina 1973-1988 /Kuorma-autoliikenne Suomessa/.

VUOSI	AJONEUVOTYYPPI									AMM.	YKS.	KAIK- KI YHT.
												
	AMM.	YKS.	YHT.	AMM.	YKS.	YHT.	AMM.	YKS.	YHT.			
1973	15800	22300	38100	2700	600	3300	5800	1500	7300	24300	24400	48700
1974	15400	23200	38600	2700	700	3400	6600	1900	8500	24700	25800	50500
1975	14800	23900	38700	2500	700	3200	6900	2100	9000	24200	26700	50900
1976	14500	24000	38500	2400	600	3000	7100	2300	9400	24000	26900	50900
1977	14100	23500	37600	2300	600	2900	7400	2400	9800	23800	26500	50300
1978	13600	23500	37100	2300	600	2900	8000	2500	10500	23900	26600	50500
1979	13200	24100	37300	2400	600	3000	8700	2700	11400	24300	27400	51700
1980	12800	24300	37100	2400	600	3000	9500	2900	12400	24700	27800	52500
1981	12400	24300	36700	2400	600	3000	9800	3200	13000	24600	28100	52700
1982	12000	24600	36600	2300	600	2900	10100	3400	13500	24400	28600	53000
1983	11900	24400	36300	2200	700	2900	10300	3600	13900	24400	28700	53100
1984	11600	24000	35600	2100	700	2800	10500	3700	14200	24200	28400	52600
1985	11300	23500	34800	2100	700	2800	10600	3800	14400	24000	28000	52000
1986	11000	23300	34300	2100	600	2700	10900	3800	14700	24000	27700	51700
1987	10800	23100	33900	2100	600	2700	11400	3900	15300	24300	27600	51900
1988	10700	23100	33800	2100	700	2800	12000	4100	16100	24800	27900	52700
MUUTOS	-5100	+ 800	-4300	-600	+100	-500	+6200	+2600	+8800	+ 500	+3500	+4000

Kun varsinaisten perävaunuyhdistelmien osuus koko kannasta oli 15 % vuonna 1973 oli vastaava luku vuoden 1988 lopussa 31 %. Eri kuorma-autotyyppien suhteellisten osuuksien kehitystä on havainnollistettu kuvassa 4. Taulukkoon 4 on kirjattu kuorma-autojen jakautuminen kokonaispainoluokkiin vuosina 1981-1989 /Tieliikenteen ... 1982-1990/.

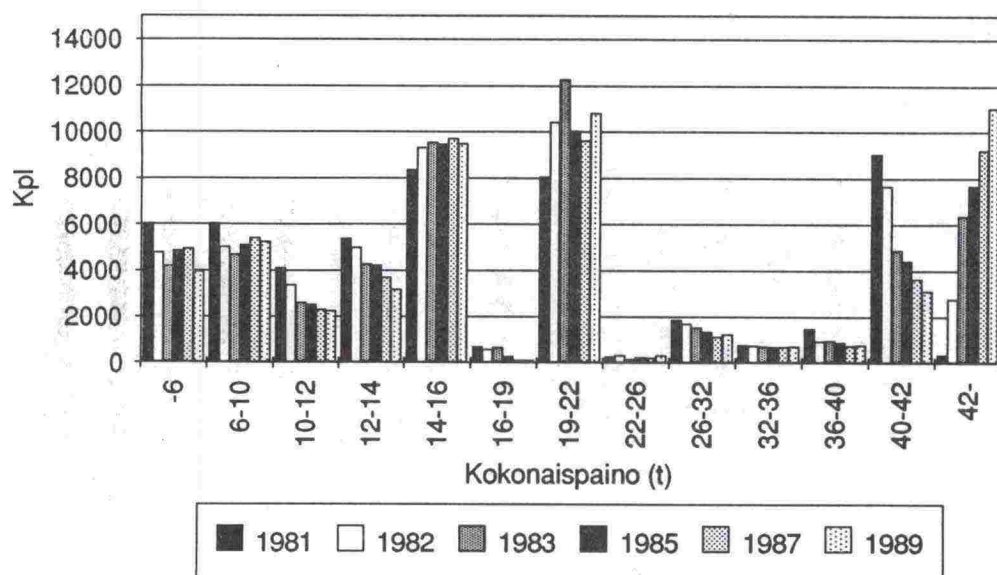


Kuva 4: Kuorma-autotyyppien osuudet koko kannasta vuosina 1973- 1988 /Kuorma-autoliikenne Suomessa/.

Taulukko 4: Kuorma-autokannan jakautuminen kokonaispainoluokkiin vuosina 1981-1989 /Tieliikenteen ... 1982-1990/.

Kokonaispai- noluokka (t)	Vuosi					
	1981	1982	1983	1985	1987	1989
3.5 - 6	6023	4764	4190	4846	4922	3954
6 - 10	6044	5022	4700	5116	5397	5242
10 - 12	4114	3358	2583	2504	2287	2245
12 - 14	5364	4993	4262	4212	3691	3174
14 - 16	8343	9323	9544	9463	9692	9482
16 - 19	659	564	648	254	89	90
19 - 22	8048	10409	12264	10035	9620	10818
22 - 26	248	305	148	218	191	308
26 - 32	1856	1687	1529	1320	1098	1208
32 - 36	744	725	685	660	674	707
36 - 40	1471	920	948	863	732	741
40 - 42	9045	7668	4870	4406	3652	3115
> 42	338	2764	6375	7653	9191	11032
Yhteensä	52297	52502	52746	51550	51236	52116

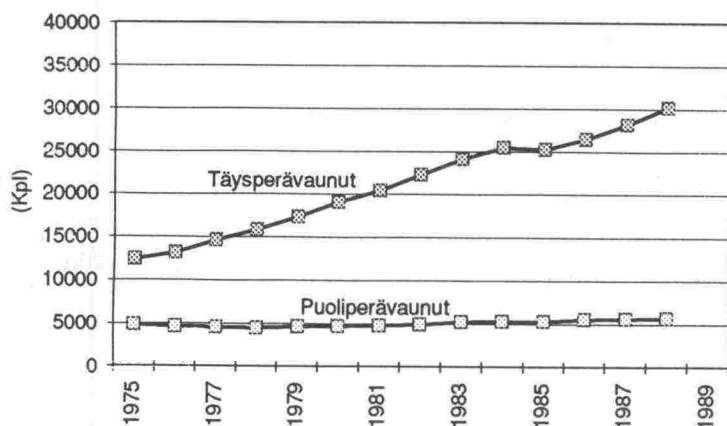
Erityisen nopeasti on kasvanut kokonaispainoltaan 42 tonnia suurempien kuorma-autoyhdistelmien määrä vuosina 1981-1989. Tätä on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5: Kuorma-autokannan jakautuminen kokonaispainoluokkiin vuosina 1981-1989 /Tieliikenteen ... 1982-1990/.

Vaikka kuorma-autojen lukumäärä on pysynyt suunnilleen samana usean vuoden ajan, on kuorma-autojen kokonaiskantavuus kasvanut vuodesta 1973 (407 000 t) vuoteen 1988 (754 000 t) 85 prosentilla /Kuorma-autoliikenne Suomessa/.

Kuorma-autojen perävaunut jaetaan puoliperävaunuihin ja varsinaisiin perävaunuihin eli täysperävaunuihin. Puoliperävaunuyhdistelmässä siirtyy sekä osa perävaunun että kuorman painosta tiehen vetoauton välityksellä. Täysperävaunussa koko kuormitus siirtyy perävaunun omien akselien välityksellä tiehen. Kuvassa 6 on esitetty rekisterissä olleiden puoliperävaunujen ja täysperävaunujen määrät vuosina 1975-1988. Varsinaisten perävaunujen määrä on kasvanut keskimäärin 7 % vuodessa tänä aikana. Vuoden 1988 lopussa oli rekisterissä 5654 puoliperävaunua ja 30156 täysperävaunua /Moottoriajoneuvot 1988/.



Kuva 6: Puoli- ja täysperävaunujen määrät vuosien 1975-1988 lopussa /Moottoriajoneuvot 1988/.

3.2 Ennuste

Tiehallituksen ennusteen /Liikenne- ja ... 1989/ perusteella kuorma-autokanta kasvaa taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5: Kuorma-autokanta lääneittäin 1988 ja ennuste vuosille 1989-2010 /Liikenne- ja ... 1989/.

Lääni	1988	1990	1995	2000	2010
Uudenmaan	11 632	11 730	11 730	11 950	12 200
Turun ja Porin	8 753	8 760	8 760	9 030	9 030
Ahvenanmaan	318	300	300	305	320
Hämeen	7 402	7 450	7 450	7 590	7 700
Kymen	3 450	3 450	3 450	3 465	3 500
Mikkelin	2 089	2 090	2 090	2 130	2 150
Pohjois-Karjalan	1 774	1 790	1 790	1 820	1 850
Kuopion	2 463	2 480	2 480	2 525	2 550
Keski-Suomen	2 533	2 570	2 570	2 620	2 700
Vaasan	5 671	5 720	5 720	5 780	6 000
Oulun	4 409	4 410	4 410	4 495	4 700
Lapin	2 242	2 250	2 250	2 280	2 300
Koko maa	52 736	53 000	53 000	54 000	55 000

Ennusteen perusteella kuorma-autojen kokonaismäärissä ei juurikaan tapahdu muutoksia.

4 KUORMA-AUTOJEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

4.1 Tehopainosuhte

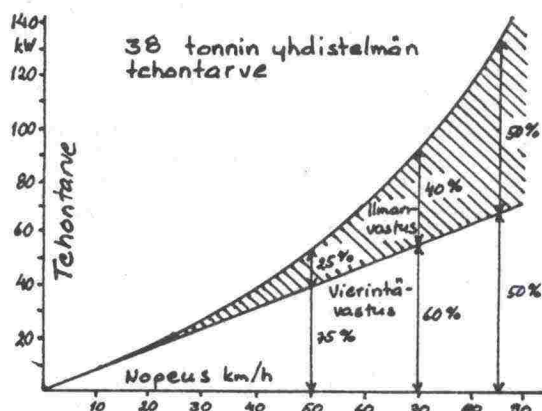
4.1.1 Suunnittelussa käytetyt tehopainosuhteet

Tehopainosuhte, jolla tarkoitetaan ajoneuvon moottorin tehoa (kW) jaettuna sen kokonaispainolla (t), on ajoneuvon suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä tärkein. Jos ajoneuvojen tehopainosuhte on sama, voidaan olettaa, että niiden suorituskyky liikenteessä on samanlainen /A policy ... 1984/.

Ajoneuvoasetuksessa edellytetään, että perävaunuyhdistelmä on varustettu vetoautolla, jonka moottori kehittää 4.4 kW (kW = 1.36 hv) jokaista kokonaispainon tonnia kohti. Esimerkiksi, jos yhdistelmän kokonaispaino on 56 tonnia, tulee moottorin tehon olla 246.4 kW (336 hv). Moottoritehovaatimusta ei kuitenkaan voida pitää ohjeellisena lukuarvona ajoneuvoyhdistelmän vetoauton teholle, vaan se on selkeästi minimivaatimus, jonka käytännön asettamat tehovaatimukset ylittävät huomattavasti /Kuorma-autojen ... 1990/.

Tiehallituksen ohituskaistojen käyttöä ja mitoitusta koskevassa ohjeessa /Ohituskaistojen ... 1985/ on mitoitusaajoneuvona käytetty kuorma-autoperävaunuyhdistelmää, jonka tehopainosuhte on 5.4 kW/t. Vastaavassa ruotsalaisessa ohjeessa /Trafikleder ... 1981/ tehopainosuhte on 5.2 kW/t. Amerikka-

laisissa ohjeissa /A policy ... 1984/ määritetään kaksikaistaisen tien nousun kriittinen pituus sellaisen mitoitusajoneuvon avulla, jonka tehopainosuhte on 5.5 kW/t. Kuvassa 7 on havainnollistettu 38 tonnin perävaunuyhdistelmän tehontarvetta nopeuden suhteen /Kuorma-autokuljetusten ... 1980/.



Kuva 7: 38 tonnin kuorma-autoperävaunuyhdistelmän tehontarve nopeuden suhteen /Kuorma-autokuljetusten ... 1980/.

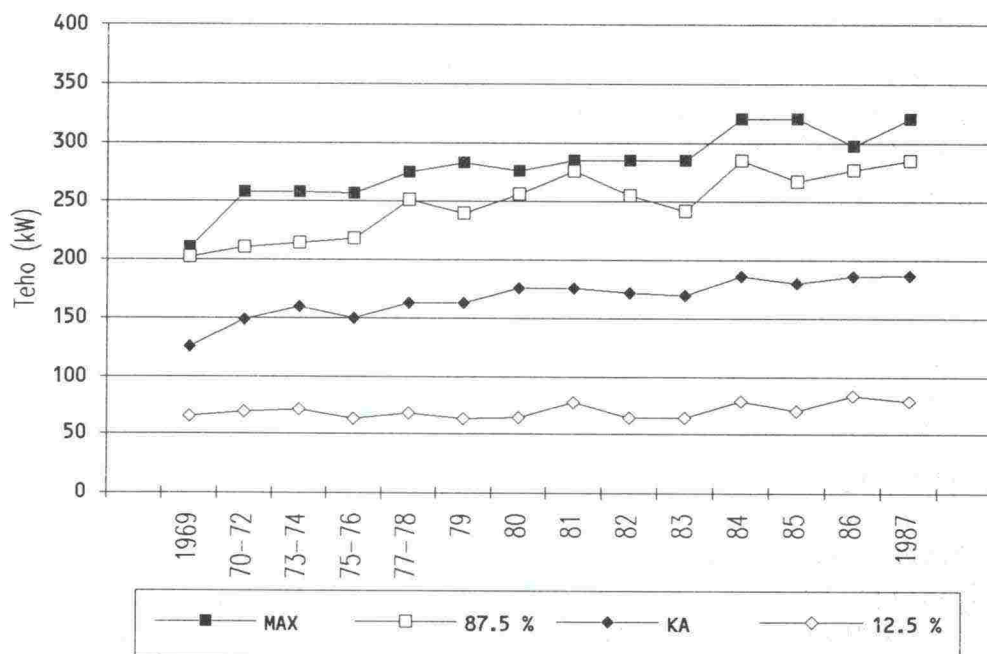
4.1.2 Tehopainosuhteen kehitys

Moottorien tehot

Kuorma-auton moottorin teho on kokonaispainon ohella toinen keskeinen muuttuja, joka vaikuttaa kuorma-auton suorituskykyyn. Taulukkoon 6 on kirjattu vuosina 1969-1987 käyttöönotettujen kuorma-autojen tehotietoja vuoden 1987 kannassa /Tampereen ... /. Näiden arvojen kehitystä on havainnollistettu kuvassa 8.

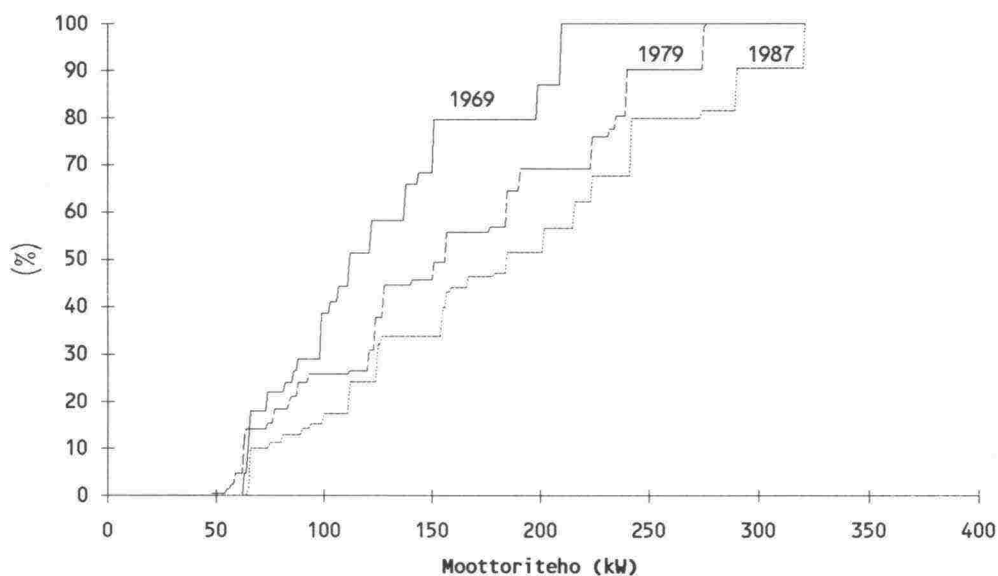
Taulukko 6: Vuosina 1969-1987 käyttöönotettujen kuorma-autojen tehotietoja vuoden 1987 kannassa /Tampereen ... /.

	Teho (kW)			
	Maksimiteho	87.5 % teho	Keskim. teho	12.5 % teho
1969	210	202	126	65
1970-72	258	210	149	69
1973-74	258	214	160	71
1975-76	257	218	150	63
1977-78	275	251	163	68
1979	283	240	163	63
1980	276	256	176	64
1981	285	276	176	78
1982	285	255	172	64
1983	285	242	170	64
1984	321	285	186	79
1985	321	267	180	70
1986	298	277	186	84
1987	321	285	187	79



Kuva 8: Kuorma-autojen moottorien tehojen kehitys vuosina 1969-1987 vuoden 1987 kuorma-autokannan tietojen perusteella /Tampereen ... /.

Vuoden 1987 kuorma-autokantatiedoston perusteella moottorien keskimääräinen teho on noussut keskimäärin 2.2 % vuodessa. Kuvassa 12 on esitetty vuosina 1969, 1979 ja 1987 käyttöönotettujen kuorma-autojen moottorien tehojen jakautumat vuoden 1987 kannassa /Tampereen.../.



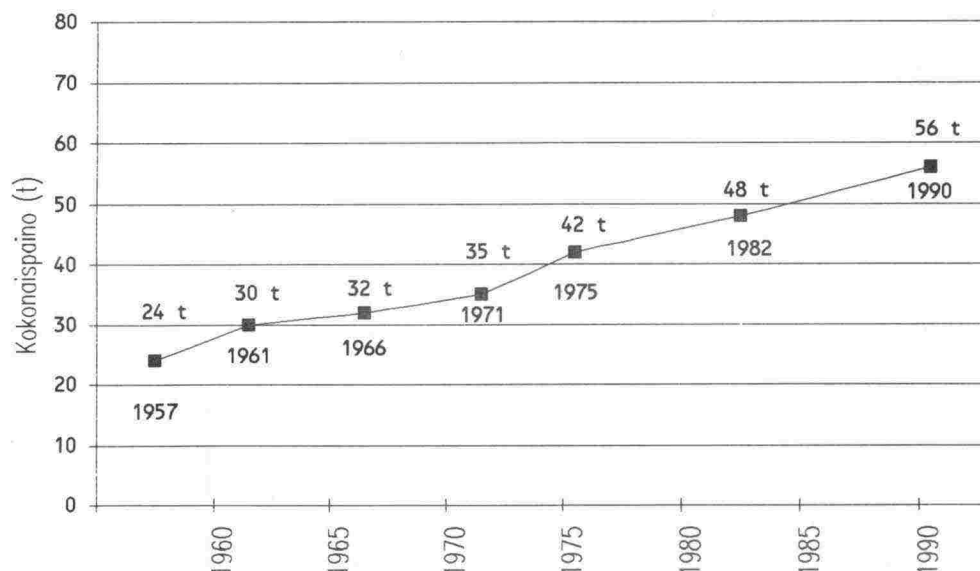
Kuva 9: Vuosina 1969, 1979 ja 1987 käyttöönotettujen kuorma-autojen tehojen jakautumat vuoden 1987 kuorma-autokannassa /Tampereen ... /.

Kokonaispainot

Koska yksittäisten kuorma-autojen tai kuorma-autoyhdistelmien kuormausaste vaihtelee, eroavat myös eri kuorma-autojen vaikutukset muuhun liikenteeseen huomattavasti. Kuorma-auton moottorin teho ja kokonaispaino määrittävät suorituskyvyn liikenteessä.

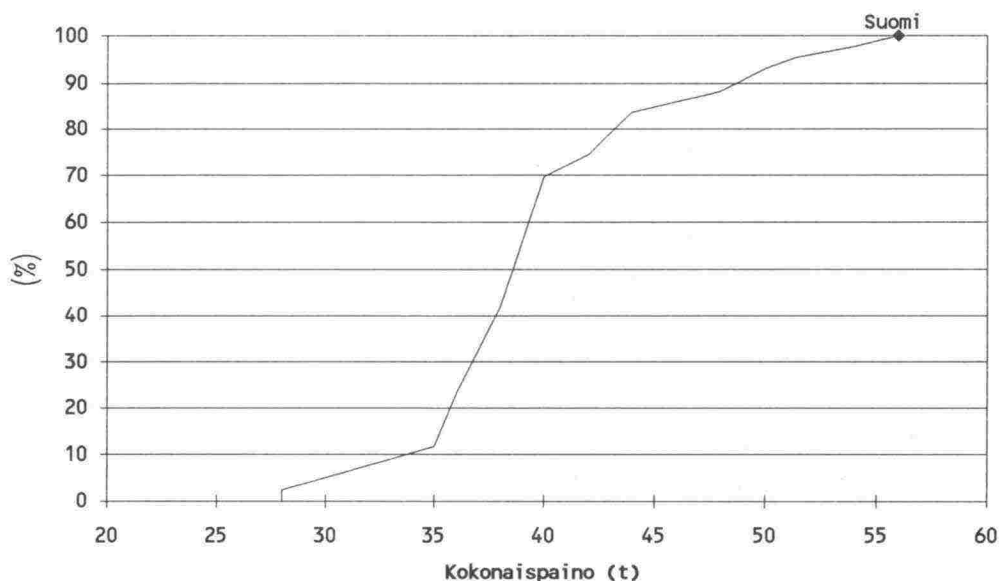
Kun kuorma-autojen sallittuja kokonaispainoja korotetaan, on oletettavissa, että raskaimpien ajoneuvoyhdistelmien suorituskky heikkenee, koska kuljetusliikkeiden vetokaluston moottorien tehot on mitoitettu alemmille kokonaispainoille. Lain salliman tehopainosuhteen käyttö ei ole kuljetustaloudellisesti järkevää, mutta vetokalustoa ei myöskään kannata välittömästi uusia kokonaispainojen korotuksen jälkeen.

Vuonna 1966 suurinta sallittua kokonaispainoa korotettiin 30 tonnista 32 tonniin ja vuonna 1971 eräille kuljetuksille sallittiin 35 tonnin kokonaispaino. Vuonna 1975 korotettiin kokonaispainoa 32-35 tonnista 42 tonniin. Seuraava korotus suoritettiin vuonna 1982, jolloin kokonaispainoa nostettiin 42 tonnista 48 tonniin ja vuoden 1990 alusta lukien ovat nykyiset määräykset olleet voimassa, joiden perusteella suurin sallittu kokonaispaino on 56 tonnia. Kun maa on jäätyneenä, voi tiehallitus myöntää luvan käyttää 60 tonnin kokonaispainoa teillä, joiden talvikunto ja sillat eivät aseta tähän estettä. Kuorma-autojen suurimpien sallittujen kokonaispainojen kehitystä on havainnollistettu kuvassa 10.



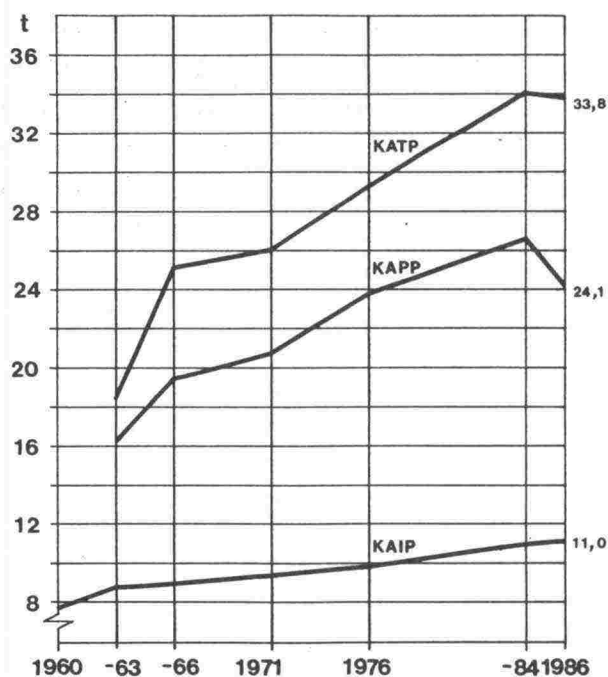
Kuva 10: Kuorma-autojen suurimpien sallittujen kokonaispainojen kehitys Suomessa vuosina 1957-1990.

Kuvassa 11 on esitetty 44 maan ajoneuvojen suurimpien sallittujen kokonaispainojen jakautuma. Kuvan tiedot ovat peräisin maista, joihin suomalaisautot liikennöivät ja ne vastaavat 1.6.1989 vallinnutta tilannetta. Kaikkiaan ulkomaanliikennettä harjoitetaan 46 maahan, mutta Arabi Emiirikunnat ja Oman eivät ole asettaneet säädöksiä ajoneuvojen suurimmille sallituille kokonaispainoille. Suomen tilanne vastaa kuvassa vuoden 1990 alusta voimaan tullutta asetusta /Mittojen ... 1989/.

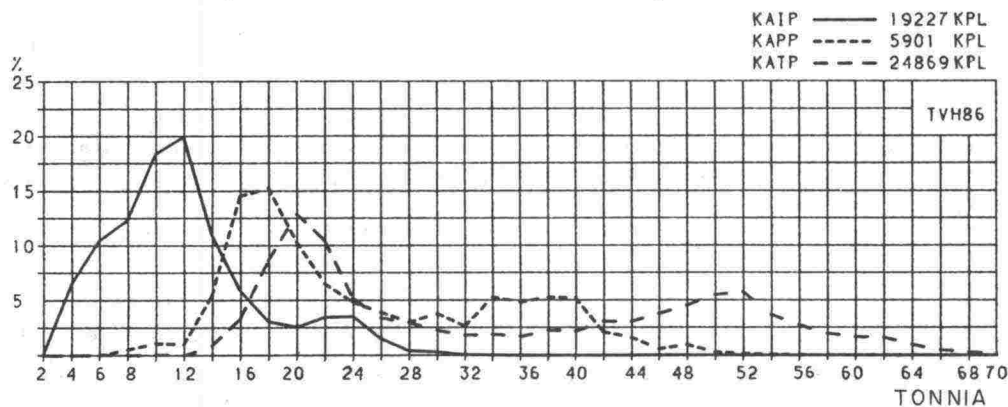


Kuva 11: Ajoneuvojen suurimpien sallittujen kokonaispainojen jakautuma 44 maassa 1.6.1989 vallinneen tilanteen perusteella. Suomen tilanne vastaa vuoden 1990 alusta voimaan tullutta asetusta /Mittojen ... 1989/.

Tiehallitus on tehnyt vuosina 1966, 1971, 1976 ja 1986 laajat valtakunnalliset painotutkimukset, joiden tavoitteena on ollut selvittää kuorma-autojen todelliset akseli-, teli- ja kokonaispainot. Kun tiehallitus teki vuoden 1986 valtakunnallisen akselipainotutkimuksen, oli tällöin voimassa tilavuusperusteinen kuljetusjärjestelmä, jonka seurauksena todettiin 48 tonnin yhdistelmien keskipainoksi maa- ja kiviainekuljetuksissa 53 tonnia ja puutavarakuljetuksissa 56 tonnia. Kuvaan 12 on merkitty kuorma-autojen keskimääräisten kokonaispainojen kehittyminen tiehallituksen painotutkimusten mukaan. Kuvassa 13 on esitetty kuorma-autojen kokonaispainojen jakautuma koko maassa vuonna 1986 /Akselipainotutkimus 1986/.



Kuva 12: Kuorma-autojen keskimääräisten kokonaispainojen kehitys tiehallituksen painotutkimusten mukaan /Akselipainotutkimus 1986/.



Kuva 13: Kuorma-autojen kokonaispainojen jakautumat Suomessa vuonna 1986 /Akselipainotutkimus 1986/.

Tehopainosuhteen keskimääräinen kehitys

Tehopainosuhte määrittää yksittäisen kuorma-auton suorituskyvyn liikenteessä ja se on riippuvainen moottorin tehosta sekä kuormauksesta. Tehopainosuhteiden kehitystä ja nykytilaa ei ole Suomessa selvitetty. Seuraavana tehopainosuhteen kehitystä on tarkasteltu keskimääräisten tietojen perusteella.

Täysperävaunulliset kuorma-autot ovat pääteiden painavin ajoneuvoryhmä (kuva 12). Voitaneen olettaa, että ne muodostavat myös suorituskyvyltään heikoimman ajoneuvoluokan eli varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen tehopainosuhteet ovat muita ajoneuvoja pienempiä. Taulukoon 7 on kirjattu täysperävaunullisten kuorma-autojen keskimääräiset koko-

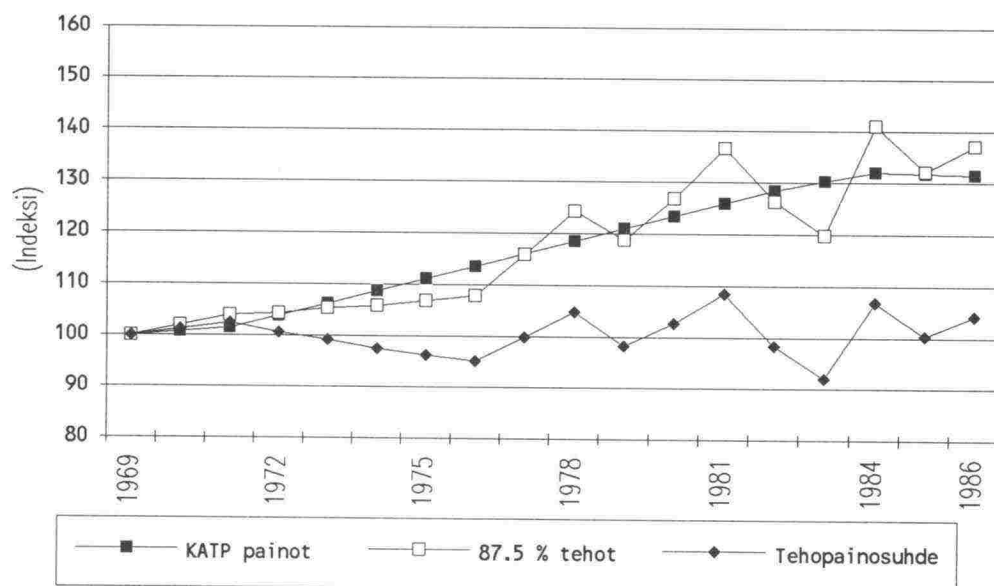
naispainot vuosina 1966, 1971, 1976, 1982, 1984 ja 1986 /Akselipainotutkimus 1966, 1971, 1976, 1982, 1984, 1986/.

Taulukko 7: Varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen keskimääräiset kokonaispainot vuosina 1966, 1971, 1976, 1982, 1984 ja 1986 /Akselipainotutkimus 1966, 1971, 1976, 1982, 1984, 1986/.

Varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen keskimääräiset kokonaispainot:

Vuosi	(kg)
1966	25120
1971	26064
1976	29164
1982	32984
1984	33918
1986	33800

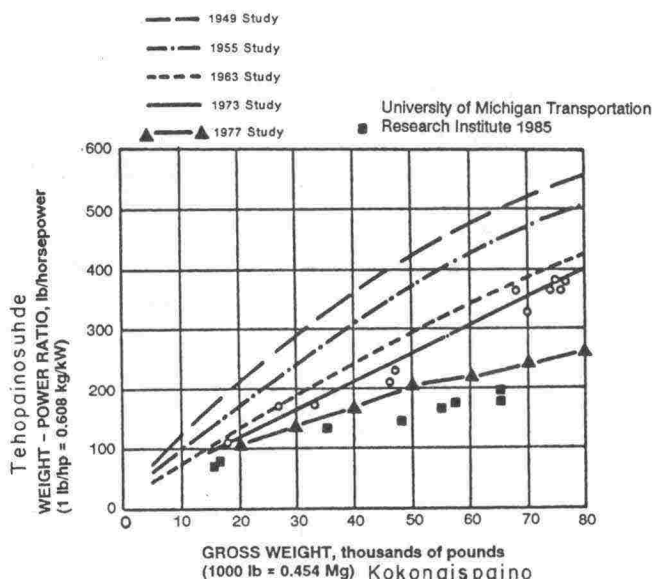
Kuvassa 14 on esitetty täysperävaunullisten kuorma-autojen kokonaispainojen keskimääräinen kehitys (taulukko 7) sekä kuorma-autojen 87.5 %:n tehojen kehitys (taulukko 6) ja näiden perusteella laskettu tehopainosuhteen kehitys vuosina 1969-1986 indeksoituna. Kuvan perusteella varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen tehot ja kokonaispainot ovat kasvaneet suunnilleen yhtä nopeasti eli tehopainosuhteet ovat pysyneet keskimäärin samoina.



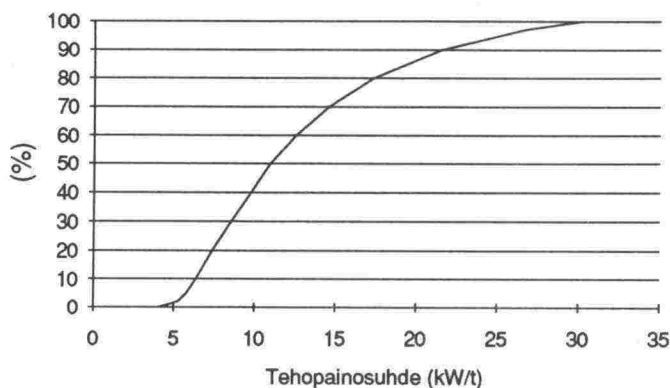
Kuva 14: Täysperävaunullisten kuorma-autojen kokonaispainojen keskimääräinen kehitys (taulukko 7) sekä kuorma-autojen moottorien 87.5 %:n tehojen kehitys (taulukko 6) että näiden perusteella laskettu tehopainosuhteen kehitys vuosina 1969-1986 indeksoituna (vuosi 1969 = 100).

Tehopainosuhteet ulkomailla

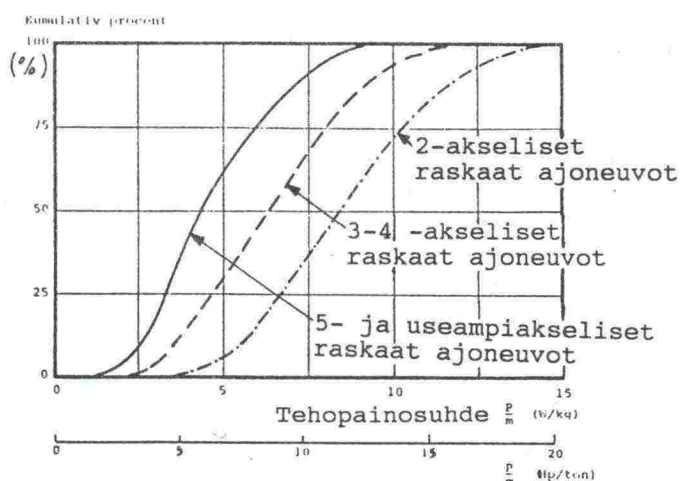
USA:ssa on seurattu kuorma-autojen tehopainosuhteiden kehitystä 1940-luvun lopulta lähtien. Kuvassa 15 on esitetty tehopainosuhteiden kehitys kokonaispainon suhteen /Providing ... 1989/. USA:ssa trendinä on se, että tehopainosuhteet ovat jatkuvasti nousseet eli kuorma-autojen suorituskyky on parantunut (USA:ssa tehopainosuhte ilmoitetaan käänteisesti Suomen käytäntöön verrattuna, joten pienenevät lukemat kuvassa 15 merkitsevät parantunutta suorituskykyä). AASHTO:n /A policy ... 1984/ suositus mitoitussajoneuvoksi, jonka tehopainosuhte on 300 lb/hp eli 5.5 kW/t, perustuu USA:ssa vuonna 1973 tehtyyn tutkimukseen, jonka jälkeen tehopainosuhteiden on todettu parantuneen, kuten kuvassa 16 on esitetty /Highway ... 1985/. Ruotsissa tehtyjen mittausten perusteella raskaiden ajoneuvojen tehopainosuhteiden jakautumat päätieverkolla ovat kuvassa 17 esitetyn kaltaiset /Carlsson 1975/.



Kuva 15: Kuorma-autojen tehopainosuhteiden kehitys USA:ssa kokonaispainon suhteen /Providing ... 1989/.



Kuva 16: Kuorma-autojen tehopainosuhteiden jakautuma haja-asutusalueiden neljäkaistaisilla maanteillä USA:ssa /Highway ... 1985/.



Kuva 17: Raskaiden ajoneuvojen tehopainosuhteiden jakautuma Ruotsin päättieverkolla /Carlsson 1975/.

Kun verrataan tehopainosuhteiden jakautumia USA:ssa ja Ruotsissa (kuvat 16 ja 17), voidaan todeta, että USA:ssa kuorma-autojen suorituskyky liikenteessä on huomattavasti parempi kuin Ruotsissa.

4.2 Muut tekijät

Raskaan yhdistelmän nopeus riippuu kuljettajan kyvystä käyttää moottoria kulloiseenkin ajotilanteeseen sopivalla tavalla. Koulutus, kokemus, fyysiset ominaisuudet sekä perehtyneisyys ajoneuvoon ovat ne kuljettajan pääpiirteet, jotka vaikuttavat ajoneuvon nopeuteen /Nabil, Safwat, Walton 1986/.

Jos tuulee voimakkaasti, sataa runsaasti, vallitsee tiheä sumu tai tiepinta on liukas, on kuljettajalla taipumus vähentää nopeutta. Australialaisen tutkimuksen perusteella hitaiden autojen keskinopeudet ovat n. 7.5 km/h alhaisempia pilvisellä säällä tienpinnan ollessa märkä kuin kauniilla säällä tienpinnan ollessa kuiva. Nopeiden (ha + pa) autojen nopeuksia puolestaan pilvinen sää ja märkä tienpinta vähentää 5 km/h /Liikenteen ... 1984/.

Kun tietä ympäröivän maankäytön tiheys kasvaa, nousee viereisten toimintojen aiheuttaman päävirtaan liittyvän liikenteen todennäköisyys. Kuljettajan luonnollinen reaktio tällaisessa tilanteessa on olla varovaisempi ja pienentää nopeutta. Australialaisten mukaan hitaiden autojen (kuorma-autot ja perävaunulliset autot) nopeus on asuuntoalueilla 12 km/h alempi kuin maaseutuolosuhteissa /Liikenteen ... 1984/.

Samana päivänä ajetun matkan pituus vaikutti Australiassa raskaiden ajoneuvojen nopeuksiin kolme kertaa enemmän kuin kevyiden ajoneuvojen nopeuksiin. Kuljettajan ikä vaikutti merkittävästi kevyiden ajoneuvojen nopeuksiin, mutta ei raskaiden ajoneuvojen nopeuksiin /Kaksikaistaisten ... 1985/. Myös hitaiden ajoneuvojen ikä vaikutti niiden keskinopeuteen, joka putosi 1.6 km/h, kun ajoneuvon ikä kasvoi vuodella /Liikenteen ... 1984/.

5 KUORMA-AUTOT LIIKENNEVIRRASSA

5.1 Yleistä

Keskeisiä liikennevirran ominaisuuksia ovat liikenteen määrä ja koostumus, suuntajakauma, nopeudet, tiheys, aikavälit sekä ohitukset ja jononmuodostus.

Kuorma-autot vaikuttavat liikennevirtaan HCM:n mukaan kahdella kriittisellä tavalla:

Kuorma-autot ovat suurempia kuin henkilöautot ja siten ne varaavat enemmän tiealaa kuin henkilöautot.

Kuorma-autojen kyky ylläpitää nopeutta nousuissa on huonompi kuin henkilöautoilla ja myös henkilöautojen kiihdytys- ja jarrutusominaisuudet ovat paremmat.

Jälkimmäinen kuorma-autojen ominaisuus on vaikutuksiltaan merkittävin. Koska kuorma-autot eivät monissa tilanteissa pysty ylläpitämään samaa nopeutta kuin henkilöautot, muodostuu liikennevirtaan välejä, joiden täyttämisen ohituksilla on hankalaa. Tämä aiheuttaa tietilan käytössä tehottomuutta, joka korostuu erityisesti pitkissä ja jyrkissä nousuissa, joissa eri ajoneuvotyyppien suorituskyvyn eroilla on suurin merkitys. Myös onnettomuusriski suurenee. Lisäksi on todettu raskaiden ajoneuvojen läsnäolon vaikuttavan muiden kuljettajien käyttäytymiseen /Crowley, Krammes 1986/.

Jos kuorma-autojen mitoitusta muutetaan, ilmenevät muutosten vaikutukset seuraavissa tekijöissä, jotka edelleen vaikuttavat liikennevirtaan: nopeus, ohitukset, jononmuodostus, kaistanvaihto ja liittyminen moottoriteillä, lumen ja ravan roiskeet, ajoneuvon aiheuttama ilmanpaine, näkemät, poikittaissuuntainen asema tiellä sekä tien palvelutaso ja kapasiteetti /Twin ... 1986/.

5.2 Liikenteen koostumus ja vaihtelumuodot

5.2.1 Nykytilanne

Ajoneuvokoostumus vaihtelee huomattavasti eri väylillä ja eri ajankohtina. Keskimääräiselle koostumukselle on ominaista henkilöautoliikenteen hallitseva osuus. Taulukossa 8 on esitetty autokannan ja liikenteen koostumus yleisillä teillä vuonna 1988 /Moottoriajoneuvot 1988/, /Yleiset tiet 1.1.1989/, /Kuorma-autoliikenne Suomessa/.

Taulukko 8: Autokanta ja liikenteen koostumus yleisillä teillä vuonna 1988
/Kuorma-autoliikenne Suomessa/, /Moottoriajoneuvot 1988/,
/Yleiset tiet 1.1.1989/.

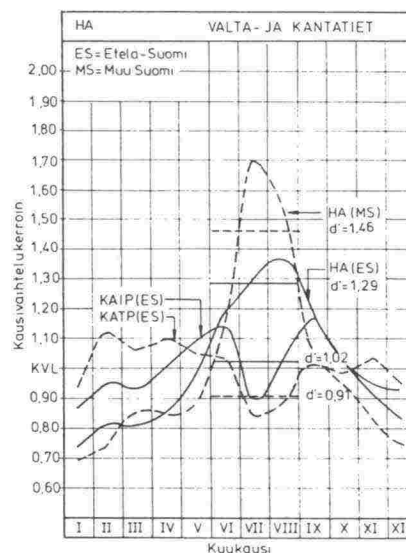
	Osuus auto- kannasta (%)	Liikenteen koostumus (%)	
		Valtatiet	Yleiset tiet yht.
Henkilöautot (HA)	88.3	82.2	83.2
Linja-autot (LA)	0.5	1.5	1.8
Pakettiautot (PA)	7.9	6.5	6.9
Kuorma-autot (KA)	2.6	9.8	8.1
- Ilman peräv. (KAIP)	1.7	3.7	3.9
- Puoliperäv. (KAPP)	0.1	1.0	0.6
- Täysperäv. (KATP)	0.8	5.1	3.6
Muut autot	0.8	-	-

Autot yhteensä 2 034 166

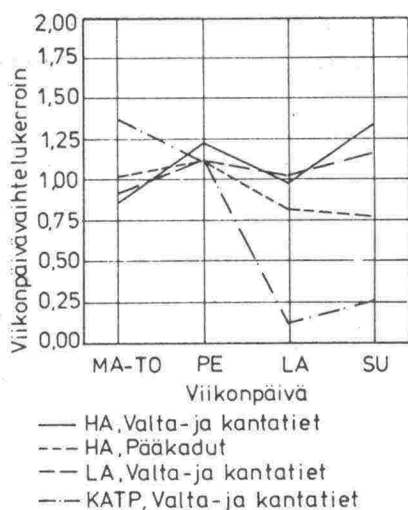
Eri ajoneuvolajien vuotuisten ajosuoritteiden eroista johtuu, että liikenteen koostumus ei ole sama kuin autokannan. Vuonna 1989 eri kuorma-autotyyppien keskimääräiset suoritteet olivat seuraavan aselman mukaiset /Tieliikenteen ... 1990/:

	Ajosuorite vuodessa (km)
Kuorma-autot ilman perävaunua	32600
Puoliperävaunulliset kuorma-autot	68300
Täysperävaunulliset -"-	92400

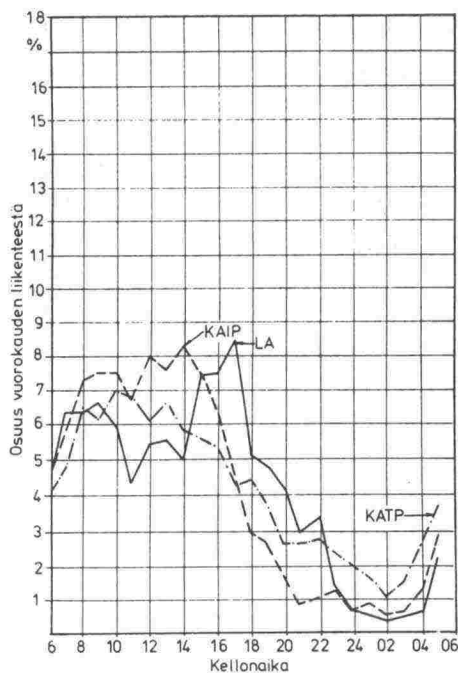
Liikenteen koostumus vaihtelee myös eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Kuorma-autoliikenne keskittyy arkipäivien työaikaan ja on pienimmillään heinäkuussa, kuten kuvista 18-20 käy ilmi.



Kuva 18: Valta- ja kantateiden liikenteen keskimääräisiä kausivaihtelukäyriä v. 1981 /Liikenne ja väylät I 1987/.



Kuva 19: Etelä -Suomen valta- ja kantateiden viikonpäivävaihtelukäyriä v. 1981 ja keski suurten kaupunkien pääkatujen henkilöautoliikenteen viikonpäivävaihtelut v. 1981 /Liikenne ja väylät I 1987/.

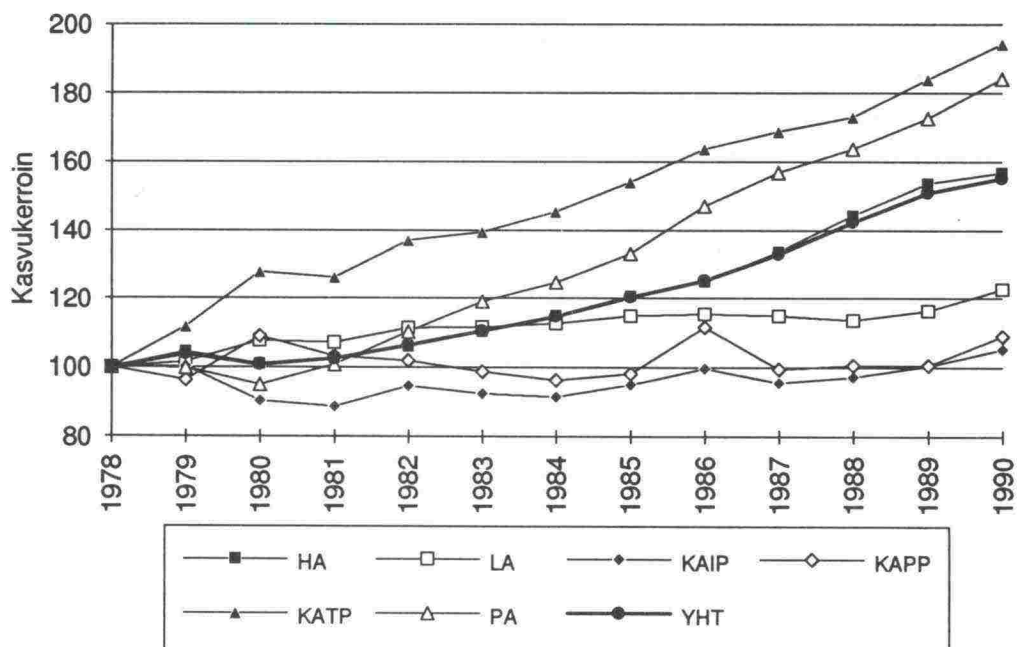


Kuva 20: Linja-autojen sekä perävaunullisten että perävaunuttomien kuorma-autojen arkipäivän tuntivaihtelut Etelä-Suomen valtakantateilla elokuussa 1981 /Liikenne ja väylät I 1987/.

Taulukkoon 9 on kirjattu eri ajoneuvotyyppien liikennesuoritteiden kehitys yleisillä teillä v. 1978-1990. Ajoneuvoliikenteen yleiskehitykselle on ollut ominaista jatkuva kasvu, jota on havainnollistettu kuvassa 21. Täysperävaunullisen kuorma-autoliikenteen kasvu on ollut suhteellisesti nopeinta. /Tietoja yleisistä teistä 1979-1988/, /Yleiset tiet 1.1.1989 - 1.1.1991/. Yleisten teiden osuus kuorma-autoliikenteestä on n. 70 % /Liikenne- ja ... 1990/.

Taulukko 9: Liikennesuoritteiden (milj. autokm/vuosi) kehitys yleisillä teillä vuosina 1978-1990 ajoneuvotyypin mukaan /Tietoja yleisistä teistä 1979-1988/, /Yleiset tiet 1.1.1989-1.1.1991/.

Vuosi	HA	LA	KAIP	KAPP	KATP	PA	YHT
1978	14733	401	1026	159	535	1079	17973
1979	15368	407	1028	153	597	1076	18630
1980	14864	431	927	173	684	1025	18105
1981	15124	429	911	164	675	1086	18388
1982	15603	446	971	162	733	1189	19106
1983	16236	447	948	157	746	1284	19818
1984	16922	451	939	153	778	1345	20588
1985	17765	460	975	156	825	1436	21619
1986	18386	462	1023	177	876	1588	22513
1987	19691	460	980	158	903	1693	23885
1988	21262	455	988	160	926	1766	25568
1989	22642	466	1030	160	984	1864	27145
1990	23113	492	1079	173	1039	1986	27888



Kuva 21: Liikennemäärien yleiskehitys maanteillä vuosina 1978-1990 tielaitoksen tarkkailulaskentojen mukaan.

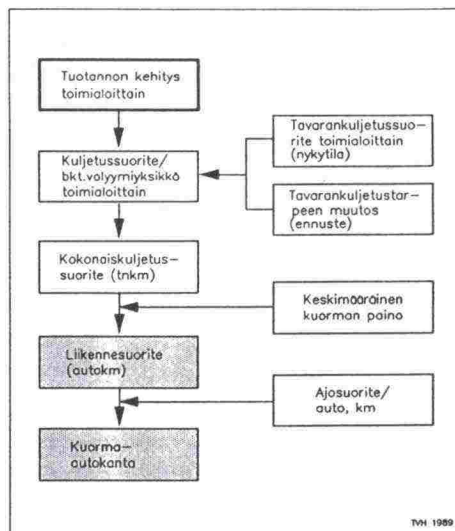
Perävaunuttomien kuorma-autojen liikennesuorite on kasvanut kahdentoista vuoden aikana 5 prosentilla, kun puoliperävaunullisten kuorma-autojen kohdalla kasvu on ollut 9 prosenttia ja täysperävaunullisten kuorma-autojen vastaava luku on 94 prosenttia. Tänä aikana henkilöautojen liikennesuorite on kasvanut yleisillä teillä 57 prosenttia ja pakettiautojen 84 prosenttia. Taulukoon 10 on kirjattu kuorma-autojen kuljetus- ja liikennesuorite tavaralajeittain yleisillä teillä ja kaduilla vuonna 1987 /Liikenne- ja ... 1989/.

Taulukko 10: Kuorma-autojen kuljetus- ja liikennesuorite tavaralajeittain vuonna 1987 /Liikenne- ja ... 1989/.

Kuljetuslaji	Autoja kpl	Tavara- määrä milj. t	Liikenne- suorite milj. km	Kuljetus- suorite mrd tkm
Puutavarakuljetukset	3 043	39.0	254	3.7
Massatavaran kuljetukset	8 874	194.9	465	4.8
Kappaletavarakuljetukset	15 028	45.4	607	4.3
Säiliöautoliikenteen kuljetukset	2 537	22.8	204	2.1
Kontit, vaihtolavat, vaihtokorit	1 731	10.9	106	1.1
Lämpö-, kylmä- ja pakastekuljetukset	2 123	6.6	129	0.7
Jätehuoltokuljetukset	1 387	8.3	90	0.2
Kunnossapitokuljetukset	4 747	30.0	152	0.5
Erikoiskuljetukset	662	5.1	34	0.3
Sekalaiset kuljetukset	8 837	35.4	324	2.6
Myymlääauto	406	0.2	9	..
Ulkomaan liikenne	2 151	10.0	134	1.6
Yhteensä	51 525	409.0	2 509	21.9

5.2.2 Ennuste

Tiehallituksen kuorma-autoliikenteen ennusteen /Liikenne- ja ...1989/ lähtökohtana on tuotannon toimialoitainen kehitysennuste, josta saadaan kuljetustarvearvio ja siitä edelleen tarvittava liikennesuorite ja autojen määrä (kuva 22). Ennustejaksolla 1989-2010 tuotanto sisältää aikaisempaa enemmän jalostusasteen noususta ja muista laadullisista tekijöistä johtuvia eriä. Aineettomien erien (palvelut) osuus BKT:ssä lisääntyy. Näistä syistä tuotannon kuljetusintensiteetti pienenee, ja kuljetussuorite ei kasva aivan tuotannon kasvun suhteessa.



Kuva 22: Tiehallituksen kuorma-autoliikenteen ennusteprosessi kaaviona /Liikenne- ja ... 1989/.

Tasku arvioi teollisuustuotannon ja rakennustoiminnan kasvavan keskimäärin 2.5 % vuodessa vuosina 1989-2010. Ennusteessa arvioidaan kuljetussuorit-

teen kasvavan 2.0 % vuodessa vuosina 1989-2010. Kuorma-autojen liikennetarvetta vähentää kuljetusten rationalisointi. Lisäksi mm. puutavaran, massatavaran ja polttoaineiden kuljetukset, joiden osuus kuorma-autojen liikennesuoritteesta on noin 40 prosenttia, kasvavat keskimääräistä teollisuustuotannon kasvua hitaammin.

Täysperävaunullisten kuorma-autojen osuuden kasvu ja kokonaispainojen korotus aiheuttavat sen, että kuorma-autojen keskimääräinen kuorman koko suurenee ja liikennesuorite kasvaa selvästi vähemmän kuin kuljetussuorite. Taulukkoon 11 on kirjattu kuorma-autojen liikennesuorite yleisillä teillä lääneittäin (tiepiireittäin) vuonna 1988 ja ennuste vuosille 1989-2010. Taulukossa 12 on esitetty kuorma-autojen liikennesuorite tieluokittain vuonna 1988 sekä ennuste vuosille 1989-2010.

Taulukko 11: Kuorma-autojen liikennesuorite (milj. autokm) yleisillä teillä lääneittäin (tiepiireittäin) vuonna 1988 ja tiehallituksen ennuste vuosille 1989-2010 /Liikenne- ja ... 1989/.

Lääni/piiri	1988	1990	1995	2000	2010
Uudenmaan	360	380	390	400	450
Turun ja Porin	330	340	350	360	380
Hämeen	287	290	300	310	350
Kymen	153	150	160	160	160
Mikkelin	111	120	120	130	140
Pohjois-Karjalan	69	70	70	80	90
Kuopion	105	110	120	120	130
Keski-Suomen	137	140	150	150	160
Vaasan	220	230	230	240	260
Oulun	197	210	220	230	240
Lapin	113	120	120	130	140
Koko maa	2 080	2 150	2 230	2 300	2 500
Vaasan piiri	188	200	200	230	240
K-Pohjanmaan piiri	77	80	80	80	90
Oulun piiri	106	120	120	120	140
Kainuun piiri	46	50	50	60	60

Taulukko 12: Kuorma-autojen liikennesuorite (milj. autokm) tieluokittain vuonna 1988 sekä tiehallituksen ennuste vuosille 1989-2010 /Liikenne- ja ... 1989/.

Tieluokka	1988	1990	1995	2000	2010
Valtatiet	1 050	1 100	1 150	1 250	1 350
Kantatiet	320	350	350	350	400
Seudulliset tiet	300	300	300	300	350
Kokoojatiet	200	200	200	200	200
Yhdystiet	210	200	200	200	200
Yleiset tiet yht.	2 080	2 150	2 200	2 300	2 500
Kadut ja yks. tiet	510	500	500	500	500
Yhteensä	2 590	2 650	2 700	2 800	3 000

Perävaunuttomien kuorma-autojen liikenne pienenee hiukan, puoliperävaunullisten pysyy ennallaan ja ainoastaan täysperävaunullisten kuorma-autojen suorite kasvaa (taulukko 13).

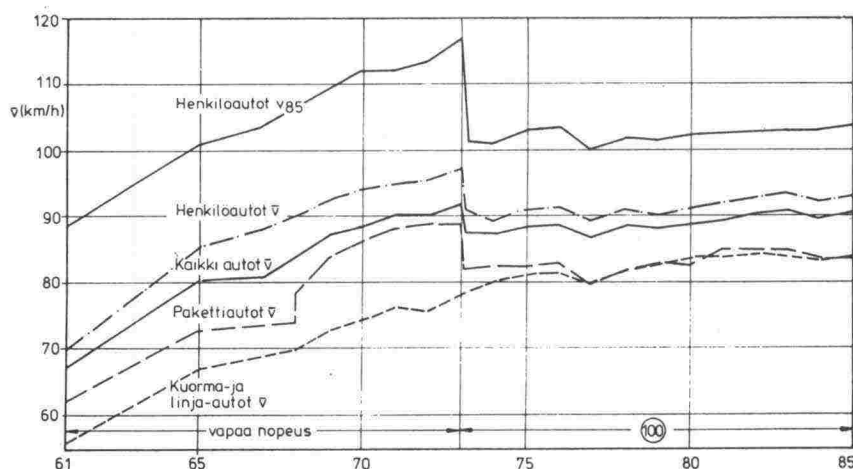
Taulukko 13: Kuorma-autojen liikennesuorite (milj. autokm) vuosina 1980-1987 ja tiehallituksen ennuste vuosille 1990-2010 kuorma-autotyypeittäin /Liikenne- ja ... 1989/.

Vuosi	Ajoneuvotyyppi			Yhteensä
	KAIP	KAPP	KATP	
1980	1 300	200	900	2 400
1985	1 200	150	1 100	2 500
1987	1 150	150	1 200	2 500
1990	1 150	150	1 300	2 600
1995	1 100	150	1 450	2 700
2000	1 100	150	1 550	2 800
2010	1 100	150	1 750	3 000

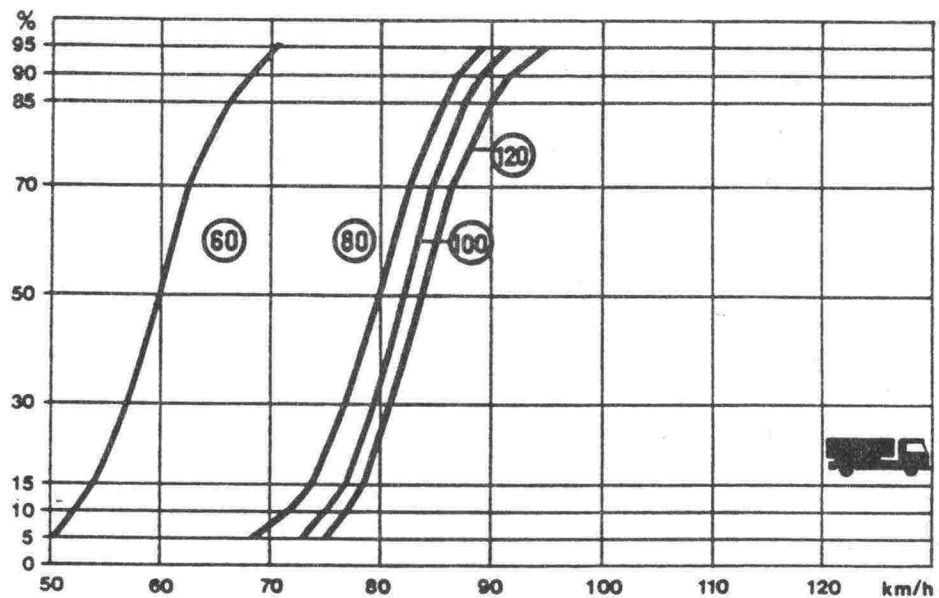
5.3 Kuorma-autojen nopeudet

5.3.1 Yleiskehitys ja nopeusarvot

Ajoneuvojen nopeudet ovat jatkuvasti kohonneet teiden parantumisen ja ajoneuvojen suorituskyvyn kasvun vaikutuksesta. Kuvassa 23 on esitetty kuorma- ja linja-autojen sekä muiden ajoneuvoryhmien keskinopeuksien ja henkilöautojen 85 %:n nopeuksien kehitys valta-kantateillä Etelä-Suomessa v. 1961-1985. Vuonna 1973 nostettiin kuorma-autojen suurin sallittu nopeus arvosta 70 km/h arvoon 80 km/h. Kuvassa 24 on esitetty kuorma-autojen nopeuksien summakäyrät pääteiden eri nopeusrajoitusalueilla v. 1989. Taulukkoon 14 on kirjattu ajoneuvokohtaisen nopeusrajoituksen ylittäneiden kuorma-autojen prosenttiosuudet eri nopeusrajoitusalueilla /Autojen ... 1990/.



Kuva 23: Eri ajoneuvoryhmien keskinopeuksien ja henkilöautojen 85 %:n nopeuksien kehitys valta-kantateillä Etelä-Suomessa vuosina 1961-1985 /Liikenne ja väylät I 1987/.



Kuva 24: Kuorma-autojen nopeuksien summakäyrät eri nopeusrajoitus-alueilla pääteillä vuonna 1989 /Autojen ... 1990/.

Taulukko 14: Ajoneuvokohtaisen nopeusrajoituksen ylittäneiden kuorma-autojen prosenttiosuudet eri nopeusrajoitusalueilla /Autojen ... 1990/.

	Ylittäneitä %								
	Kaikki ylitykset			Ylitys > 10 km/h			Ylitys > 20 km/h		
	<u>Nopeusrajoitus</u>			<u>Nopeusrajoitus</u>			<u>Nopeusrajoitus</u>		
	80	100	120	80	100	120	80	100	120
KAIP	48	68	78	6	10	17	1	1	2
KAP (*)	57	77	80	7	11	11	0	1	1

*) Perävaunulliset kuorma-autot

5.3.2 Matkanopeudet

Keskimääräinen matkanopeus kuvaa tien liikennöitävyyssominaisuutta. Korkea nopeustaso on pääteiden tärkeä suunnitteluperuste. Keskimääräinen matkanopeus tietyllä tieosalla saadaan jakamalla tieosan pituus ajoneuvojen keskimääräisellä matka-ajalla.

Suomalaisessa tien välityskykyä ja matkanopeutta pitkillä tieosilla koskeneessa tutkimuksessa havaittiin taulukon 15 mukaiset kuorma-autojen ja muiden ajoneuvotyyppien matkanopeudet pienillä liikennemäärillä hyvissä olosuhteissa /Summala ja kumpp. 1986/. Taulukossa 15 esitetty laskennallinen nopeusrajoitus saadaan tieosalla vallitsevien nopeusrajoitusten keskiarvona. Se lasketaan nopeusrajoitusten pituuden mukaan painotettuna.

Taulukko 15: Kuorma-autojen ja muiden ajoneuvotyyppien matkanopeudet vt 6/7:n kaksikaistaisella, moottoriliikennetie- ja moottoritieosuudella pienillä liikennemäärillä (200-300 ajon./h) hyvissä olosuhteissa /Summala ja kumpp. 1986/.

Tieosuus		KAIP	KAPP KATP	HA	PA	LA
Kaksikaistainen tie	v	73.039	73.273	76.065	73.764	73.131
- pituus 17.0 km	sd	6.521	3.982	4.526	2.983	2.533
- laskennallinen nopeusraaj. 78.4 km/h	md	73.083	73.600	75.903	73.833	73.625
	v ₈₅	76.475	76.300	80.509	76.925	74.783
Moottoriliikennetie	v	83.830	83.050	100.027	86.953	89.273
- pituus 6.4 km	sd	6.109	5.857	9.303	6.549	7.120
- nopeusrajoitus 100 km/h	md	83.375	81.583	99.676	85.500	89.500
	v ₈₅	87.550	89.525	108.863	95.000	96.650
Moottoritie	v	84.470	85.923	113.418	92.480	99.384
- pituus 27.5 km	sd	9.170	4.982	12.151	9.909	8.526
- laskennallinen nopeusraaj. 115.0 km/h	md	84.250	85.625	114.233	91.000	103.500
	v ₈₅	89.450	90.625	123.830	102.300	105.650

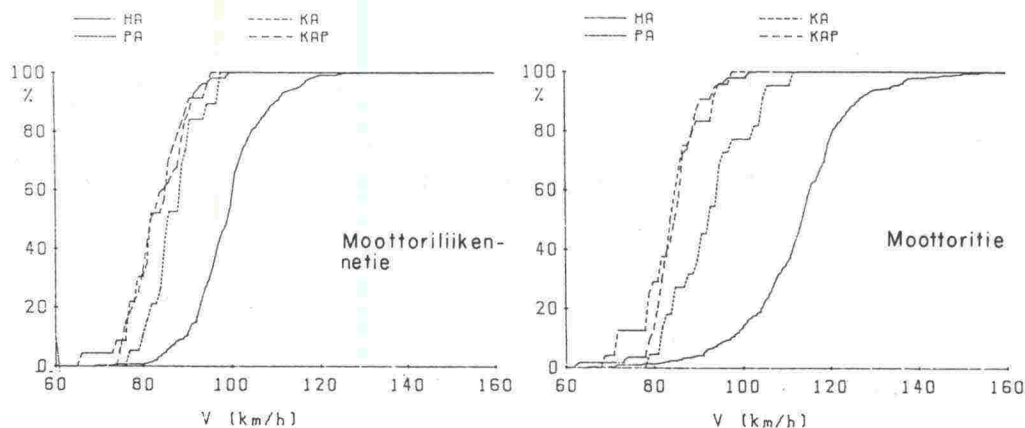
v = keskinopeus

sd = nopeuksien keskihajonta

md = nopeuksien moodi

v₈₅ = nopeuksien 85 % persentiili

Kuvassa 25 on esitetty taulukon 15 mukaisilta moottoriliikenne- ja moottoritie- osuuksilta kuorma-autojen ja muiden ajoneuvotyyppien matkanopeuksien jakautumat.



Kuva 25: Kuorma-autojen ja muiden ajoneuvotyyppien matkanopeuksien jakautumat vt 6/7:n moottoriliikennetie- ja moottoritie- osuudella pienillä liikennemäärillä (200-300 ajon./h) hyvissä olosuhteissa /Summala ja kumpp. 1986/.

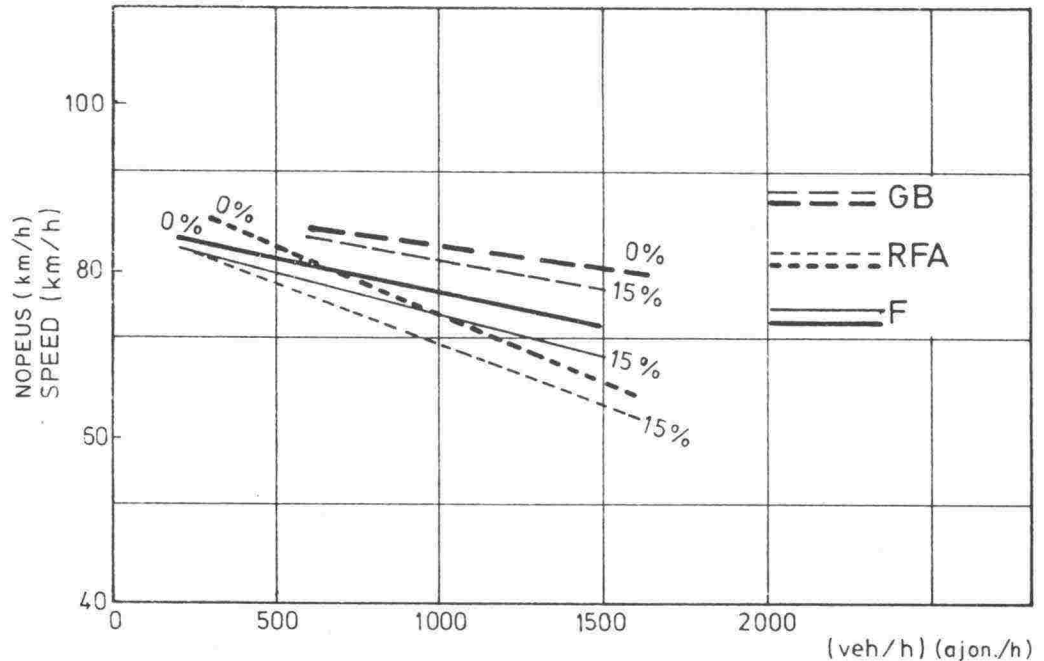
Pääteiden kehittämisen arviointiohjelmistossa (KEHAR) lasketaan raskaiden autojen matkanopeudet samoiksi kuin kevyiden autojen nopeudet, mutta kuitenkin korkeintaan nopeusrajoituksen 80 km/h mukaisiksi /KEHAR 2.0 1990/.

5.3.3 Nopeusmallit

Nopeuksille on kehitetty malleja, jotka osoittavat eri tekijöiden vaikutusta nopeuksiin. Raskaiden ajoneuvojen osuus on usein mallien selittäjänä. Kuorma-autojen liikenteen keskimääräisiä nopeuksia alentavan vaikutuksen suuruuteen vaikuttavat monet eri tekijät /Twin ... 1986/:

- kuorma-autojen ja muiden ajoneuvojen liikennemäärät
- muiden ajoneuvojen toivenopeudet (nopeus, jolla kukin autoilija haluaisi matkallaan edetä)
- kuorma-autojen toivenopeus ja saavutettavissa oleva nopeus
- ohitusmahdollisuudet.

Kuvan 26 mukaan, jossa on esitetty kahden koostumukseltaan erilaisen liikenteen keskinopeus eri liikennemäärillä kaksikaistaisilla tasaisilla teillä eri maissa, raskaat ajoneuvot pienentävät nopeutta 1-4 km/h /Kaksikaistaisten ... 1985/.



Kuva 26: Nopeus-liikennemääräriippuvuus kaksikaistaisilla tasaisilla teillä eri maissa, kun raskaiden ajoneuvojen osuus on 0 % tai 15 % /Kaksikaistaisten ... 1985/.

Australiassa on tarkasteltu erilaisten ajoneuvojen nopeustietoja regressio-analyysillä /Liikenteen... 1984/. Tarkastelu oli rajattu siten, että tutkittiin vain tietyntyyppisillä kaksikaistaisilla teillä käytettäviä nopeuksia. Tarkastelun kohteena

olivat tiedot kuljettajista ja matkan tarkoituksesta, käytettävien autojen iästä, liikennemäärästä ja sen koostumuksesta tarkasteltavalla ja vastaan tulevien autojen kaistalla sekä maankäytöstä tien vieressä ja keliolosuhteista. Tieolosuhteiden vaikutuksia käytettäviin nopeuksiin ei siten pyrittykään selvittämään. Ajoneuvojen keskimääräistä nopeutta kuvaava malli muodostui seuraavanlaiseksi:

$$\text{Keskinopeus} = 128.8 - 14.8 \times X_1 - 0.03 \times X_2 - 43.5 \times X_3 - 17.8 \times D_1 + 5.9 \times D_2, R = 0.96$$

X_1 = vapaa-ajan matkojen osuus

X_2 = liikennemäärä vastaan tulevien autojen kaistalla

X_3 = kuorma-autojen osuus tarkasteltavalla kaistalla

D_1 = 1 jos asuntoalue, muuten = 0

D_2 = 1 jos kuiva tie, muuten = 0

Mallin perusteella, jos kuorma-autojen osuus tarkasteltavalla kaistalla on 1 % tai 15 %, pienenee keskinopeus vastaavasti 0.4 km/h tai 6.5 km/h.

Suomalaisessa tutkimuksessa /Kaksiajokaistaisen ... 1973/ laskettiin kuorma-autojen nopeuksille keskinopeusmalli käyttäen selittäjinä tien geometriaa kuvaavia ja liikenteellisiä muuttujia. Kuorma-autojen keskinopeudelle saatiin seuraava malli:

$$\text{Keskinopeus} = 77.32 - 0.00241Q - 0.205M - 0.0087K, R = 0.4974$$

Q = tien kokonaisliikennemäärä (ajon./h)

M = mäkisyys (m/km)

K = kaarteisuus (grad/km)

Mallin mukaan, kun mäkisyys kasvaa 10 m/km, alenee kuorma-autojen keskinopeus 2.05 km/h.

Kanadassa on kehitetty malli erikseen 10 %, 50 % ja 90 % nopeuksille kaksikaistaisella tiellä hyvissä oloissa /Aerde, Yagar... 1984/:

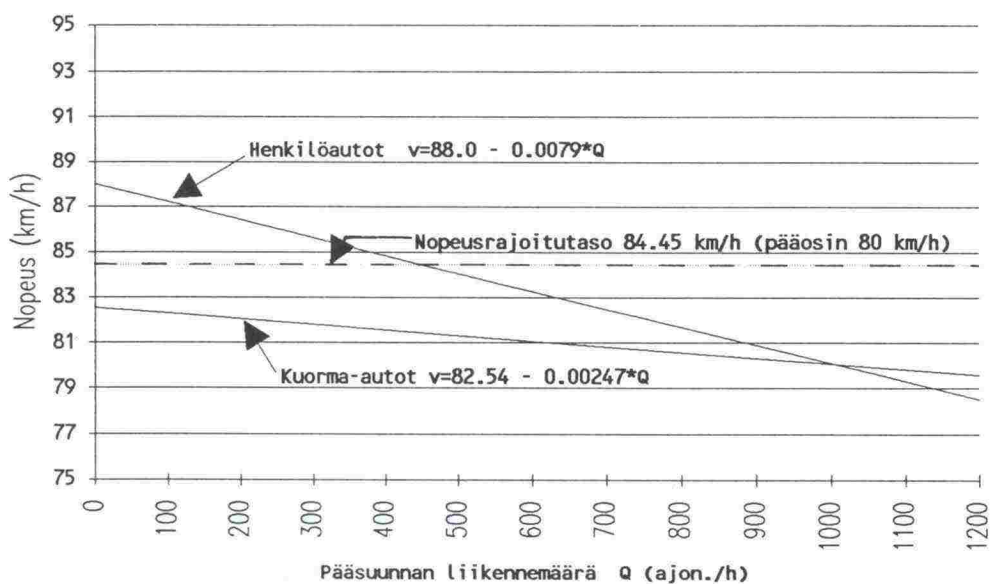
$$\begin{aligned} \text{Nopeus (10 \%, 50 \% tai 90 \%)} &= \text{nopeuspersentiilin vapaa nopeus} \\ &+ C_1 \times \text{henkilöautojen lukumäärä} \\ &+ C_2 \times \text{kuorma-autojen} \quad - \text{ " -} \\ &+ C_3 \times \text{vapaa-ajan ajoneuvojen} \quad - \text{ " -} \\ &+ C_4 \times \text{muiden} \quad - \text{ " -} \quad - \text{ " -} \\ &+ C_5 \times \text{vastaantulevien} \quad - \text{ " -} \quad - \text{ " -} \end{aligned}$$

Kertoimet $C_1 - C_5$ ja nopeuspersentiiliin vapaa nopeus ovat seuraavan asetelman mukaiset:

		Nopeuspersentiili		
		10 %	50%	90 %
Vapaa nopeus (km/h)		81.3	90.1	101.7
		$\cdot 10^{-3}$		
Henkilöautot	C_1	- 3.2	- 5.2	- 8.4
Kuorma-autot	C_2	- 36.4	- 31.5	- 30.7
Vapaa-ajan ajon.	C_3	- 12.4	- 19.1	- 22.1
Muut ajon.	C_4	- 3.6	5.6	7.7
Vastaantul. ajon.	C_5	- 1.6	- 2.4	- 3.7

Persentiilit ilmaisevat kuljettajan suhteellisen aseman koko kuljettaja-populaatiossa heidän käyttämänsä nopeuden avulla. Kun esimerkiksi pääsuunnan liikennemäärä on 1000 ajon./h ja kuorma-autojen osuus on 15 %, pienenee 50 % nopeus 4.7 km/h kuorma-autojen vaikutuksesta.

Summala teki vuonna 1984 valtatie 3:n ruuhkatutkimuksen /Summala 1984/, jossa kuorma-autojen matkanopeus aleni 2.5 - 3.5 km/h, kun tuntiliikennemäärä ajosuunnassa kasvoi 1000 ajon./h. Henkilöautolla vastaava nopeustason lasku oli 8 -10 km/h. Kuvassa 27 on esitetty kuorma-autojen ja henkilöautojen matkanopeudet liikennemäärän suhteen välillä Riihimäki-Hyvinkää.

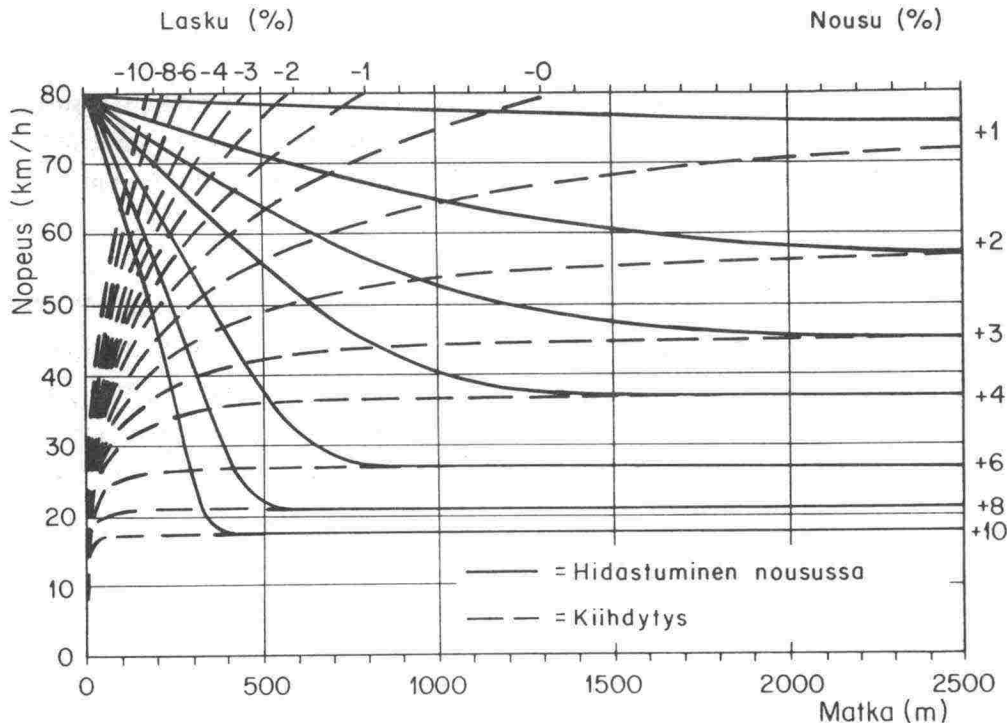


Kuva 27: Kuorma-autojen ja henkilöautojen matkanopeudet liikennemäärän suhteen valtatie 3:lla välillä Riihimäki-Hyvinkää /Summala 1984/.

5.3.4 Nopeudet nousuissa

Kuorma-autot vievät enemmän tilaa ja ovat erityisesti nousuissa hitaampia kuin muu liikenne. Tämä vähentää tien kapasiteettia ja lisää onnettomuusrisiä.

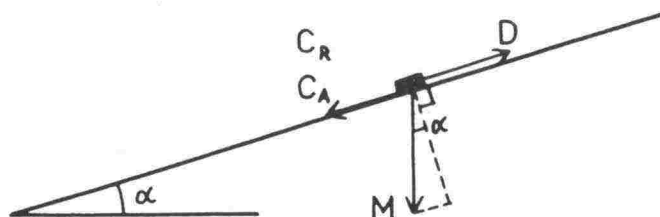
Suurin nopeus, jonka raskas ajoneuvo pystyy ylläpitämään nousussa, riippuu nousun jyrkkyydestä ja auton tehopainosuhteesta. Kun esimerkiksi täysin kuormattu ajoneuvoyhdistelmä ryhtyy ajamaan nousua ylöspäin, rupeaa yhdistelmän nopeus alenemaan, kunnes se saavuttaa nousun jyrkkyydestä ja yhdistelmän tehopainosuhteesta riippuvan ryömintänopeuden. Saman tehopainosuhteen omaavien autojen voidaan olettaa suoriutuvan nousuista samalla tavoin /A policy ... 1984/. Ajoneuvon kiihtyvyys- ja hidastusmatkat voidaan esittää kuten kuvassa 28 /Ohituskaistojen ... 1985/.



Kuva 28: Ajoneuvon, jonka tehopainosuhte on 5.4 kW/t, kiihdytys- ja hidastusmatkat nousuissa ja laskuissa /Ohituskaistojen ... 1985/.

Kuva perustuu klassiseen liikeyhtälöön /Färdtekniska ... 1983/:

$$F = m a = D - C_R - C_A - M \sin \alpha$$



Yhtälö voidaan kehittää muotoon:

$$dV = \left(\frac{p}{V} - \frac{C_r AV^2}{m} - (C_r + g \sin \alpha) \right) dt$$

C_1 = ilmanvastuskerroin (kg/m^3)

A = poikkipinta-ala (m^2)

V = nopeus (km/h)

C_r = pyörimiskitka (N/kg)

m = massa (kg)

p = tehopainosuhde (kW/t)

$g = 9.82 \text{ m/s}^2$

Jokaista pientä ajanmuutosta (dt) kohti voidaan laskea nopeuden (dv) muutos. Ajassa dt kuljetun matkan pituus saadaan kaavasta $dl = dt \times dv$. Tämän perusteella voidaan piirtää kuvan 28 mukainen kumuloitunut matka ja nopeus.

5.4 Ohitukset

Koska liikennevirran ajoneuvojen nopeudet vaihtelevat, saavuttavat nopeammat hitaita, mistä seuraa ohitustarve. Kuorma-autojen vaikutus ohitustarpeeseen on kaksikaistaisilla teillä huomattavasti merkittävämpi kuin monikaistaisilla teillä. Kaksikaistaisilla teillä kuorma-autojen ja varsinkin kuorma-autoyhdistelmien koko rajoittaa ohittajan näkeväisyyttä. Toinen seikka, mikä vaikeuttaa ohitusten suorittamista tai ohituksesta luopumisen arviointia, on kuorma-autoyhdistelmän pituus.

Troutbeck /Impacts ... 1983/ on todennut, että 16 metriä pitkän ajoneuvoyhdistelmän ohitus henkilöautolla vaatii 18 % enemmän aikaa kuin 5 metriä pitkän ajoneuvon ohitus. Vastaavasti 20 metriä pitkän yhdistelmän ohitus vaatii 24 % enemmän aikaa kuin 5 m pitkän ajoneuvon ohitus.

Kanadassa on tutkittu /Hutchinson, Green, Haas 1989/ turvallisten ohitusnäkemien pituuksia suhteessa ohitettavan ajoneuvon pituuteen ja tien mitoitusnopeuteen. Ohitusnäkemän pituus on laskettu siten, että ohituksen kriittinen asema vallitsee silloin, kun ohitusnäkemävaatimus joko ohituksen suorittamiseksi tai siitä luopumiseksi on sama. Taulukkoon 17 on kirjattu turvalliset ohitusnäkemät kuorma-autojen pituuden suhteen kaksikaistaisen tien eri mitoitusnopeuksilla. Tutkimuksen mukaan vaadittavan ohitusnäkemän pituuden kasvulla on tärkeä vaikutus kaksikaistaisen tien välityskykyyn, mutta asiaa on edelleen tutkittava.

Taulukko 17: Kanadassa havaitut turvalliset ohitusnäkemät kaksikaistaisella tiellä kuorma-autojen pituuden suhteen tien eri mitoitusnopeuksilla /Hutchinson, Green, Haas 1989/.

Tien mitoitus- nopeus (km/h)	Turvallinen ohitusnäkemä (m)			
	Henkilö- auto	Kuorma-auto (pituus)		
		16.8 m	19.8 m	33.5 m
65	204	232	238	259
80	253	293	299	329
100	302	351	360	402
112	347	402	421	472

Amerikkalaisissa pitkiä kaksi- ja kolmiosaisia kuorma-autoyhdistelmiä koskeneissa tutkimuksissa /Twin ... 1986/ on löydetty todisteita seuraavista seikoista:

- kuorma-autoyhdistelmät aiheuttavat viivytysten kasvua kaksikaistaisilla teillä
- autonkuljettajat ovat pidättäviäisiä yhdistelmien ohittamisessa, vaikka vastaantulevassa liikennevirrassa olevat aukot mahdollistaisivat turvallisen ohituksen
- ohitusaikojen kasvu yhdistelmiä ohitettaessa.

Seguin /Providing ... 1989/ on tutkinut ajoneuvon leveyden vaikutusta ohituskäyttäytymiseen kaksikaistaisilla teillä. Kun kuorma-auton leveys nousee 2.44 metristä 2.54 metriin ja aina 2.90 metriin, tulee ohitus vaikeammaksi. Kuorma-autojen kasvanut leveys vähentää ohitettavan ja ohittajan välistä poikittaista etäisyyttä sekä pakottaa vastaantulevat ajoneuvot lähemmäksi tien reunaa. Vaikka nämä tekijät huonontavat liikennevirran laatua, ovat niiden vaikutukset vähäisiä aina 2.59 metrin leveyteen asti.

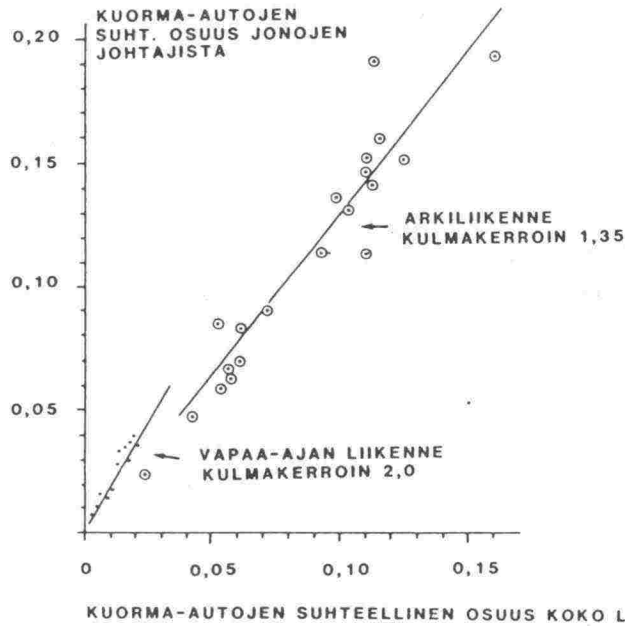
5.5 Jononmuodostus

Mikäli ohitukset näkemäesteiden ja vastaantulevan liikenteen vuoksi eivät ole mahdollisia, alkaa liikennevirrassa esiintyä jononmuodostusta. Ajoneuvon katsotaan olevan jonossa, jos edellä ajava vaikuttaa nopeuden valintaan. Jonokriteerinä käytetään tavallisesti peräkkäisten ajoneuvojen aika- (< 5 s) ja nopeuseroja (< 15 km/h). Jononmuodostus (viivytettynä ajon osuus) on HCM:n vuoden 1985 laitoksen perusteella kaksikaistaisen tien palvelutasoon vaikuttavia tekijöistä tärkein.

Jonon johtajia koskeneessa kanadalaisessa tutkimuksessa todettiin, että liikennemäärän rinnalla tien geometriaan liittyvillä tekijöillä on jonojen muodostumisen kannalta vain vähäinen merkitys ja että liikennemäärä oli itse asiassa ainoa tilastollisesti tyydyttävä selittäjä.

Tutkimuksen mukaan kuorma-autosta tulee jonon johtaja 1.8 kertaa todennäköisemmin kuin henkilöautosta ja kuorma-auton aiheuttama jono on keskimäärin pitempi kuin henkilöauton aiheuttama. Kuvasta 29 käy ilmi, että

kuorma-auton todennäköisyys tulla jonon johtajaksi on 2.0 kertainen henkilöautoon verrattuna vapaa-ajan liikenteessä ja 1.35-kertainen työmatkaliikenteessä /Söderlund 1985/.



Kuva 29: Jonoa johtavien kuorma-autojen osuus kaikkiin jonon johtajiin nähden suhteessa kuorma-autojen osuuteen koko liikennevirrasta kanadalaisen tutkimuksen perusteella /Söderlund 1985/.

Hollantilaisessa tutkimuksessa /Botma 1986/ todettiin pääsuunnan liikennemäärän ja kuorma-autoprosentin parhaiten selittävän kaksikaistaisen tien jononmuodostusta. Kenttämittausten aikana kuorma-autojen osuus pääsuunnan liikennemäärästä oli 12-24 % ja nopeusrajoitus oli 80 km/h tai 100 km/h. Jonossa ajavien ajoneuvojen osuudeksi (PRHIN, proportion of hindered vehicles) sekä maksimijononpituudeksi 5 minuutin ajanjaksona (MAXLEN, maximum platoon length) muodostettiin regressiomallit:

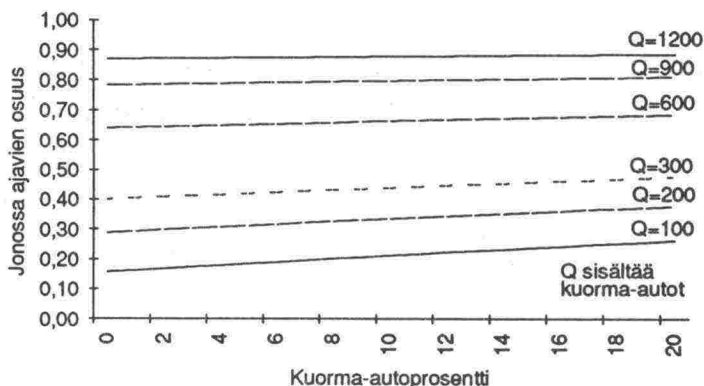
$$PRHIN = 1 - \exp(-1.70 \times 10^{-3} \times Q_1 - 6.69 \times 10^{-3} \times TP_1), R^2 = 77 \%$$

$$MAXLEN = 2.90 \times \exp(1.84 \times 10^{-3} \times Q_1 + 4.02 \times 10^{-3} \times TP_1), R^2 = 64 \%$$

Q_1 = pääsuunnan liikennemäärä

TP_1 = kuorma-autoprosentti

Kuvassa 30 on havainnollistettu kuorma-autoprosentin vaikutusta jonossa ajavien ajoneuvojen osuuteen eri liikennemäärillä. Mallin perusteella kuorma-autojen vaikutus jonossa ajavien ajoneuvojen osuuteen pienenee, kun liikennemäärät kasvavat.



Kuva 30: Kuorma-autojen osuuden (KA/kaikki ajon. %) vaikutus jonossa ajavien ajoneuvojen osuuteen kaksikaistaisen tien pääsuunnan eri liikennemäärillä (Q) hollantilaisen tutkimuksen perusteella /Botma 1986/.

Enberg on Suomessa tutkinut jononmuodostusta kaksikaistaisilla teillä /Enberg 1988/. Taulukkoon 18 on koottu yhdeksän mittauspisteen havainnot, jossa ajoneuvot on jaettu 6-14 metrin pituisiin (kuorma-autot ilman perävaunua ja linja-autot) sekä yli 14 metriä pitkiin (ajoneuvoyhdistelmät) ajoneuvoihin. Ajoneuvoyhdistelmien eli lähinnä puoli- ja täysperävaunullisten kuorma-autojen osuus jononjohtajista on suhteellisesti suurin. Kaikista raskaista ajoneuvoista noin kolmannes on jononjohtajia.

Taulukko 18: Eri pituisten ajoneuvojen esiintyminen jononjohtajana suhteessa niiden osuuteen koko liikennevirrasta kaksikaistaisilla teillä /Enberg 1988/.

Ajoneuvon jononjohtajuus suhteessa osuuteen
koko liikennevirrasta

		Päiväliikenne Ajoneuvojen pituus 6 - 14 m >14m		Ruuhkaliikenne Ajoneuvojen pituus 6 - 14 m > 14 m	
Vt 3, Klaukkala	Helsinkiin Hämeenlinnaan	1.49	1.89	1.76	3.00
		1.79	2.00	2.40	4.46
Vt 3, Riihimäki	Helsinkiin Hämeenlinnaan	1.42	1.51	2.15	1.49
		1.86	2.15	3.00	5.51
Vt 4, Haarajoki	Helsinkiin Lahteen	1.72	1.92	2.01	2.15
		1.58	0.96	3.09	4.92
Vt 4, Mäntsälä	Helsinkiin Lahteen	1.78	1.94	1.39	1.76
		1.74	3.47	2.82	7.5
Vt 4, Herrala	Helsinkiin Lahteen	1.17	1.03	1.87	1.62
		1.50	1.73	2.61	5.07
Vt 5, Pyhäntä	Lahteen Heinolaan	1.51	1.30	1.19	2.73
		1.35	0.93	1.83	2.60
Vt 7, Koskenkylä	Porvooseen Kotkaan	1.06	1.42	1.38	2.00
		1.46	2.74	3.72	9.5
Kt 137, Hyrylä	Helsinkiin Träskändään	1.07	0.84	1.50	0.82
		1.99	0.84	1.56	0.88
Keskimäärin		1.53	1.76	2.14	3.50

5.6 Palvelutason käsite

Palvelutasolla (level of service) tarkoitetaan ajo- ja liikkumisolosuhteiden laatua liikenteessä mukana olevan kannalta tarkasteltuna. Siihen vaikuttaa nopeus, matka-aika, liikkumis- ja ajotoimintojen vapaus, liikenteen häiriöt, mukavuus ja turvallisuus. Käsitettä on kehitelty lähinnä HCM-käsitteistöissä, joista se on levinnyt yleiseen käyttöön.

HCM:ssä käytetään palvelutason kuvaamiseen kuutta palvelutasoluokkaa A - F. Luokka A kuvaa parasta ja samalla liikennemäärältään pienintä palvelutasoa ja luokka F edustaa ruuhkautuneita olosuhteita. Palvelutason käytännön mittarit vaihtelevat tarkasteltavan liikennetilanteen mukaisesti.

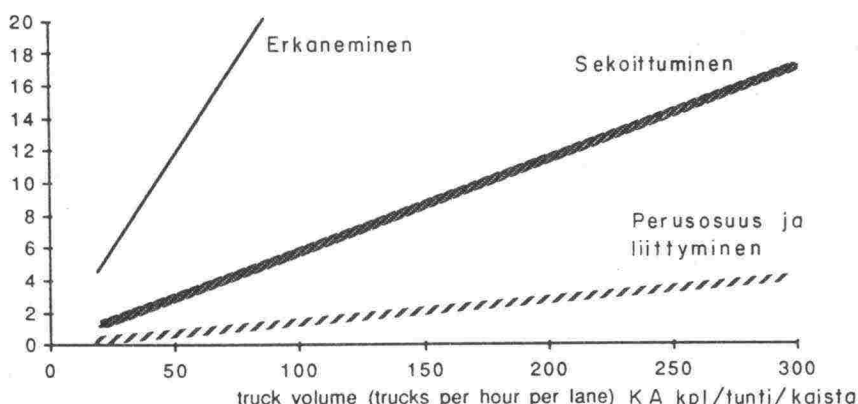
5.7 Henkilöautoyksikön käsite

5.7.1 Yleistä

Koska raskaat ajoneuvot vievät tilaa ja ovat erityisesti nousuissa hitaampia kuin muu liikenne, on yhden raskaan ajoneuvon vaikutus liikennevirtaan suurempi kuin yhden keskimääräisen henkilöauton. Ajoneuvokoostumukseltaan erilaiset liikennevirrat saadaan vertailukelpoisiksi muuttamalla eri ajoneuvoryhmien liikennemäärät henkilöautoyksiköiksi tietyillä vastaavuuskertoimilla. Raskaiden ajoneuvojen vaikutus on siis sama kuin tietyn suuremman henkilöautomäärän lisääminen liikenteeseen.

Jos raskaan liikenteen vaikutus otetaan huomioon vain raskaiden ajoneuvojen prosenttiosuutena liikennevirrasta, eivät eri ajoneuvoryhmien ja -tyyppien (esim. LA, KA, KAPP, KATP) erot tule esiin. Kun jonkun ajoneuvotyypin suhteellinen osuus liikennevirrassa kasvaa, eivät muutokset liikenteen koostumuksessa heijastu sellaisissa laskentamenetelmissä, joissa raskaan liikenteen vaikutus on otettu huomioon prosenttiosuutena liikennevirrasta.

Kun tehdään erilaisia liikenneanalyyskejä (kapasiteetti, nopeus, jonoutuminen, muut liikennevirran ominaisuudet), saatetaan olettaa tietyn ajoneuvotyypin vastaavuuskertoimen olevan sama erilaisissa liikennetilanteissa, mutta tämä oletus on osoittautunut vääräksi. Erilaisissa liikenneanalyysseissä käytettävien henkilöautoyksikköjen arvojen tulisi perustua kustakin liikennetilanteesta johdettuihin vastaavuuskertoimiin /Aerde, Yagar 1984/. Tästä esimerkkinä on kuvassa 31 esitetty amerikkalaisessa tutkimuksessa /Mahmassani, Kim 1987/ havaitut kuorma-autojen liikennemääristä riippuvat vastaavuuskertoimet, jotka perustuvat koko liikennevirran keskimääräisiin matka-aikoihin kaupunkimoottoriteiden eri osuuksilla.



Kuva 31: Kuorma-autojen liikennemäärästä riippuvat vastaavuuskertoimet, jotka perustuvat koko liikennevirran keskimääräisiin matka-aikoihin, kaupunkimoottoriteiden eri osuuksilla amerikkalaisen tutkimuksen mukaan /Mahmassani, Kim 1987/.

5.7.2 Laskentamenetelmät

Tielinja

Foglianon menetelmä perustuu ajoneuvon tarvitsemaan ohitusaikaan (R). Ekvivalenttiarvot saadaan tarkasteltavan ajoneuvon ja henkilöauton ohitusaikojen suhteen.

$$E_{ka} = \frac{R_{ka}}{R_{na}}$$

Walkerin menetelmässä ekvivalenttiarvot (E_{kt}) on saatu vertaamalla tarkasteltavan ajoneuvotyypin aiheuttamaa ohitustarvetta henkilöautojen keskinäisiin ohituksiin.

$$E_{kt} = \frac{P_{kt}}{P_{kp}}$$

P_{kt} = kuorma-auton passiiviset ohitukset/km

P_{kp} = henkilöauton passiiviset ohitukset/km

Ekvivalenttiviivytysmenetelmä perustuu tarkasteltavan ajoneuvon ja henkilöauton viivytysten vertailuun ohitustapahtumassa. Jos henkilöauto saavuttaa edellä ajavan ajoneuvon, henkilöauto voi säilyttää nopeutensa ohittamalla, jos vastaantulevaa liikennettä ei ole. Kun vastaantuleva liikenne estää välittömän ohituksen, aiheutuu henkilöautolle viivytystä.

$$E_{kt} = \frac{D_{kt}}{D_{kp}}$$

D_{kt} = yhden kuorma-auton aiheuttama keskimääräinen viivytys ohituksessa

D_{kp} = yhden henkilöauton aiheuttama keskimääräinen viivytys ohituksessa

Tasoliittymä

Tasoliittymissä hay-ekvivalenttien määrittäminen perustuu eri ajoneuvotyyppi-en ylitysaikojen vertailuun. Liittymissä kääntyminen vaatii yleensä enemmän aikaa kuin suoraan ajo, joten kääntyvän ajoneuvon vastaavuuskerroin on suurempi kuin suoraan ajavan. Tarkemmissa laskelmissa pitäisi vielä ottaa huomioon se, että vasemmalle kääntyvien häiriövaikutus ja samalla hay-ekvivalentti riippuu vastaantulevasta (ja jalankulkijoiden) liikenteestä, johon nähden kääntyvät ovat väistämisvelvollisia. Häiriövaikutus on myös sitä suurempi valo-ohjatuissa liittymissä, mitä lyhyempi on vihreän ajan osuus ja mitä pidempi kiertoaika /Lyly/.

6 KUORMA-AUTOT JA LIIKENTEENVÄLITYSKYKY

6.1 Yleistä

Liikenteenvälityskyky (maksimivälityskyky, kapasiteetti) on suurin liikenneyksiköiden määrä, jonka tie tai kaista voi välittää tietyssä ajanjaksona vallitsevissa tie- ja liikenneolosuhteissa.

Liikenteenvälityskylaskelmilla selvitetään, kuinka suuria liikennemääriä eri liikenneväylät pystyvät välittämään. Laskelmia suoritetaan sekä nykyistä tilannetta analysoitaessa, että uusia väyliä mitoittaessa ja vaihtoehtoja vertailtaessa. Huomattavimman alaa käsittelevän käsikirjan HCM:n /Highway...1985/ uusin laitos on vuodelta 1985. Ruotsissa on v. 1977 valmistunut laaja käsikirja "Beräkning av kapacitet, kölängd, fördröjning i vägtrafikanläggningar" /Beräkning ... 1977/. Myös Suomessa käytetään näissä käsikirjoissa esitettyjä laskentamenetelmiä, joskin Suomessa tehdyillä välityskykyä koskevilla tutkimuksilla ja selvityksillä on menetelmien soveltuvuutta Suomeen parannettu.

Vaikka tiet on suunniteltu palvelemaan erilaisia ajoneuvotyyppejä, eivät niiden vaikutukset välityskykyyn ole samanlaiset. Koska kuorma-autot vievät enemmän tilaa ja ovat erityisesti nousuissa hitaampia kun henkilöautot, vähentävät nämä välityskykyä henkilöautoja enemmän.

6.2 Kaksikaistaiset tiet

6.2.1 Yleistä

Kaksikaistaisella tiellä tarkoitetaan yksiajorataista tietä, jolla on yksi kaista kumpaankin ajosuuntaan. Muista jatkuvan liikennevirran väylistä poiketen toisen suunnan liikenne vaikuttaa ratkaisevasti toisen suunnan liikennevirtaan. Ohittamiseen on käytettävä vastaantulevan liikenteen kaistaa, kun riittävät näkemät ja vastaantulevassa liikennevirrassa olevat aukot tekevät sen mahdolliseksi. Kun liikennemäärät kasvavat ja näkemät huonontuvat, ohitus-

mahdollisuudet vähenevät ja siitä aiheutuu jononmuodostusta ja viivytystä liikenteelle.

Kaksikaistaisen tien palvelutasoa kuvataan seuraavien tunnuslukujen avulla /Kaksikaistaisen... 1986/:

1. Viivytysprosentti (%)
2. Keskimääräinen matkanopeus (km/h)
3. Kapasiteetin käyttöaste (v/c-suhde)

Viivytysprosentti (percent time delay) tarkoittaa sitä keskimääräistä osuutta matka-ajasta, jonka autoilijat ajavat jonossa toisten viivyttämänä voimatta ohittaa edellä ajavia. Nopeus on tällöin alle toivenopeuden, jolla autoilija haluaisi matkallaan edetä. Viivytettynä ajamisen osuutta on vaikea mitata suoraan, mutta sen arviona voidaan käyttää 5 sekuntia pienempien aikavälien osuutta. Kun liikennemäärä kasvaa, ohitustarve lisääntyy, mutta ohitusmahdollisuudet vähenevät. Siitä syystä viivytettynä ajamisen osuus suurenee nopeasti, kun liikennemäärä kasvaa.

Keskimääräinen matkanopeus (space mean speed) tarkoittaa kaikkien autojen keskinopeutta tieosuudella eli matkajakauman keskiarvoa. Kapasiteetin käyttöaste (v/c-ratio) tarkoittaa liikenteen kysynnän (tuntivirta) suhdetta väylän kapasiteettiin.

Kuorma-autojen vaikutusta kaksikaistaisen tien palvelutason voidaan arvioida palvelutasoa kuvaavien tunnuslukujen perusteella. Käsitys eri ajoneuvoryhmien vaikutuksesta viivytysprosenttiin voidaan muodostaa vertailemalla niiden osuutta jonon johtajista. Myös eri ajoneuvoryhmien keskimääräisiä matkanopeuksia voidaan vertailla. Tärkein kaksikaistaisen tien palvelutason vaikuttavista tunnusluvuista on viivytysprosentti. Kaksikaistaisen teiden palvelutasojen kuvaus on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19: Kaksikaistaisten teiden palvelutasojen kuvaus. /Kaksikaistaisen ... 1986/.

PALVELU- TASO LPT	AJO-OLosuhteiden kuvaus	VIIVYTY- PROSENTTI (%)	KESKIMÄÄRÄINEN MATKANOEPU ¹⁾ (km/h)	MAKSIMI- PALVELU- VIRTA ²⁾ (ajon/h)
A	Ajo-olosuhteet lähes vapaat, autoilijat voivat ajaa haluamallaan nopeudella (toivonopeus). Toivonopeuden ylläpitoon tarvitaan vähän ohituksia ja ohitustarve on selvästi pienempi kuin ohitusmahdollisuuksien määrä.	≤ 30	≥ 93...92	420
B	Ajo-olosuhteet hyvät. Toivonopeuden ylläpito edellyttää paljon ohituksia ja ohitustarve on B-tason alarajalla tällöin likimain sama kuin ohitusmahdollisuuksien määrä.	≤ 45	≥ 89...87	750
C	Jonojen määrä ja koko selvästi suurempi kuin tasossa B. Kaikkia ohituksia ei ole mahdollista heti suorittaa. Tason C alapäässä alkaa esiintyä pitkähköjä jonoja ja vastaan tuleva liikenne rajoittaa selvästi ohituksia. Liikennevirta on vakaa mutta alkaa tulla häiriöherkäksi kääntyville tai hitaille ajoneuvoille.	≤ 60	≥ 84...82	1200
D	Siirryttäessä tasolle D epävakaa virta alkaa lähestyä. Ohitustarve erittäin suuri kun taas ohitusmahdollisuuksien määrä lähestyy nollaa. Keskimääräinen jononpituus 5 - 10 ajoneuvoa. Ohitusosuuksilla on yleensä vähän vaikutusta ohitusmääriin. Kääntyvät ajoneuvot tai muut häiriöt aiheuttavat iskuaaltoja (jarrutuksia) virtaan, jolloin nopeudet vaihtelevat paljon. Tason D maksimi palveluvirta on suurin virta, jonka tie voi välittää ilman suurta tukkeutumatoennäköisyyttä (breakdown).	≤ 75	≥ 81...79	1800
E	Liikenne ruuhkautunutta. Ohittaminen on käytännössä mahdotonta ja jonot pitkiä. Hitaat ajoneuvot määräävät nopeustason, nopeudet vaihtelevat. Tason E maksimivirta on tien kapasiteetti. Tien toimivuus kapasiteettirajalla on epävakaa ja vaikea ennustaa.	≥ 75	≥ 72...64	2800
F	Kapasiteetti ylittynyt. Tien välittämä liikenne samoin kuin nopeustaso alle kapasiteettirajan. Liikenne saattaa madalla ja pysähdellä.	100	(< 72...64)	(<2800)

TVH/Sts

1) Nopeus tasaisella ... kumpuilevalla tiellä jonka mitoitusnopeus on ≥ 97 km/h

2) Ihanno-olosuhteissa molemmat suunnat yhtenäisä (ihanno-olosuhteet on määritellyt kohdassa 2.23)

6.2.2 Yhtäjaksoiset tieosuudet

Kaksikaistaisen tien liikenteellisen palvelutason arvioimiseksi käytetään Suomessa laskentaohjetta /Kaksikaistaisen ... 1986/, joka perustuu HCM:n vuoden 1985 painokseen.

Palveluvirralla tarkoitetaan enimmäistuntivirtaa, jonka tie pystyy välittämään tietyssä palvelutasossa. Palveluvirta lasketaan kaavalla:

$$SF_i = 2800 \times (v/c)_i \times f_d \times f_w \times f_{hv}$$

SF_i = palvelutason i palveluvirta (ajon./h) molemmat suunnat yhteensä

2800 = kaksikaistaisen tien välityskyky ihanneolosuhteissa

tasainen suora tie

ei liittymiä

leveys > 11.5 m

ohitusosuutta 100 %

vain henkilöautoja

suuntajakautuma 50/50 %

hyvä sää

$(v/c)_i$ = palvelutason i käyttösuhde saadaan mäkisyysluokan ja ohitusosuuksien määrän perusteella

f_d = suuntajakautumakerroin

f_w = leveyskerroin

f_{hv} = raskasautokerroin

Raskaiden ajoneuvojen vastaavuuskertoimella f_{hv} liikennemäärät muutetaan henkilöautoyksiköiksi:

$$f_{hv} = 1/[1 + P_t(E_t - 1) + P_b(E_b - 1) + P_r(E_r - 1)]$$

P_t = Kuorma-autojen osuus liikennevirrassa

P_b = Linja-autojen - " -

P_r = Pakettiautojen, matkailuajoneuvojen ja muiden ajoneuvokohtaisen nopeusrajoituksen omaavien osuus liikennevirrassa

Taulukossa 20 on esitetty ajoneuvotyyppien vastaavuuskertoimet (E_t , E_b , E_r).

Taulukko 20: Ajoneuvotyyppien vastaavuuskertoimet kaksikaistaisen tien palveluvirran laskemiseksi /Kaksikaistaisen ... 1986/.

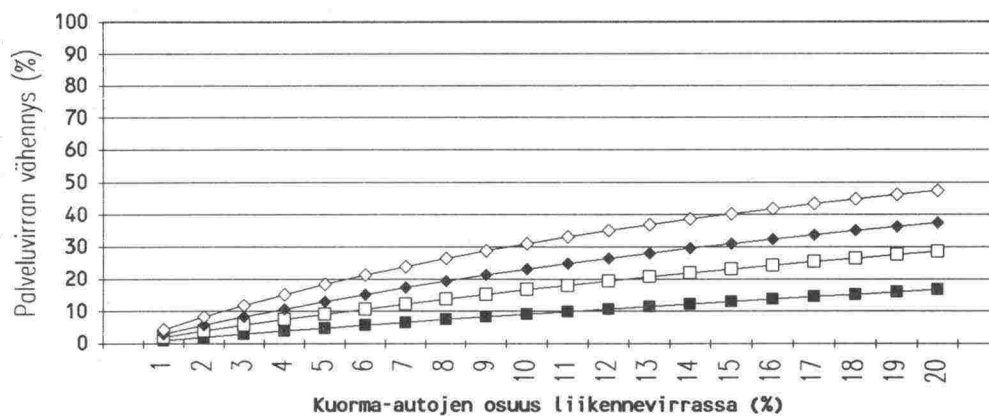
VASTAAVUUS- KERROIN	PALVELU- TASO LPT	MÄKISYYSLUOKKA ML			
		ML 1	ML 2	ML 3	ML 4
E_T	A	2,0	3,0	4,0	5,5
	B - C	2,2	3,6	5,0	7,5
	D - E	2,0	3,5	5,0	8,5
E_B	A	1,8	2,4	3,0	4,3
	B - C	2,0	2,7	3,4	4,7
	D - E	1,6	2,2	2,9	4,7
E_R	A	2,2	2,7	3,2	4,1
	B - C	2,5	3,2	3,9	4,5
	D - E	1,6	2,4	3,3	4,2

Vastaavuuskertoimeen vaikuttaa tien palvelutaso ja mäkisyysluokka, joka määräytyy mäkisyysluvun (m/km) perusteella alla olevan asetelman mukaisesti.

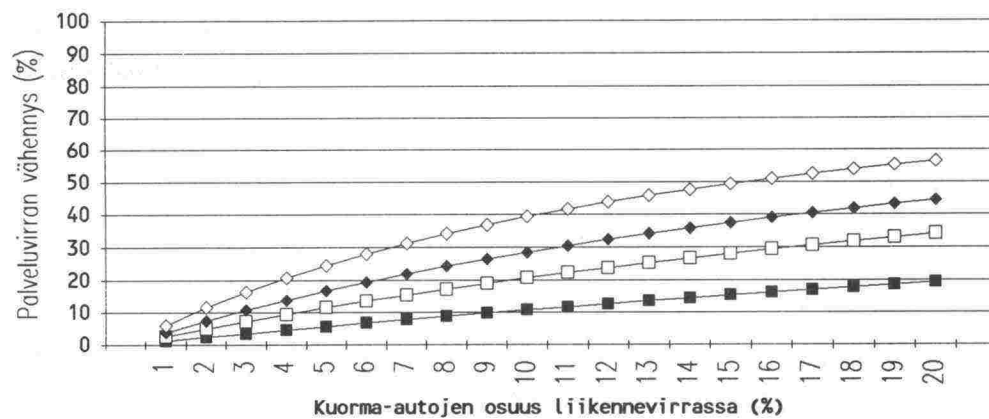
Mäkisyysluokka	Mäkisyysluku (m/km)
ML 1	< 9
ML 2	10 - 16
ML 3	17 - 22
ML 4	> 23

Kuvassa 32 on esitetty kuorma-autojen vaikutus kaksikaistaisen tien välityskykyyn vähennyksenä ihanneolosuhteista (2800 molemmat suunnat yhteensä) liikennevirrassa olevien kuorma-autojen osuuden ja mäkisyysluokan suhteen palvelutasoilla A, B-C ja D-E. Palvelutasoilla B-C kuorma-autojen vaikutus kaksikaistaisen tien välityskykyyn on suurempi kuin palvelutasolla A, mutta palvelutason pudotessa luokkiin D-E kuorma-autojen vaikutus välityskykyyn on pienempi tai yhtäsuuri kuin palvelutasoilla B-C mäkisyysluokissa 1-3.

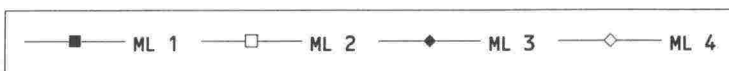
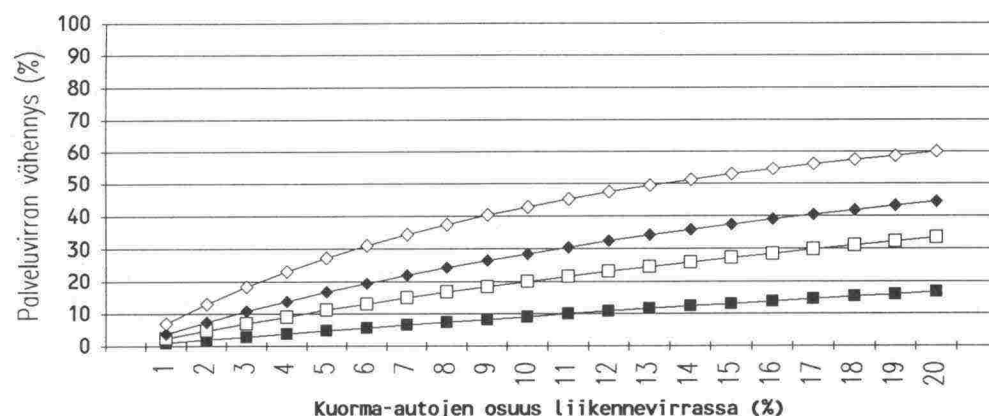
Palvelutaso A



Palvelutasot B-C



Palvelutasot D-E



Kuva 32: Kuorma-autojen vaikutus kaksikaistaisen tien välityskykyyn (molemmat suunnat yhteensä) liikennevirrassa olevien kuorma-autojen osuuden ja mäkisyysluokan suhteen palvelutasoilla A, B-C ja D-E suomalaisen laskentaohjeen /Kaksikaistaisen ... 1986/ perusteella.

6.2.3 Erilliset nousut

Kun nousut ovat loivempia kuin 3 % ja lyhyempiä kuin 0.5 mailia (0.8 km), kehoitetaan HCM:ssä käyttämään yhtäjaksoisen tieosan laskentamenetelmää välityskyvyn laskemiseksi. Jos nämä arvot ylittyvät, sovelletaan erillisten nousujen laskemismenetelmää, joka on monimutkaisempi kuin yhtäjaksoisten osuuksien /Lyly 1990/.

Liikennevirran ominaisuudet nousuissa ovat erilaiset kuin tavanomaisilla tieosuuksilla. Nousujen vaikutus nopeuksiin on suurempi kaksikaistaisilla teillä kuin monikaistaisilla teillä. Kun nousuissa raskaiden ajoneuvojen nopeus pienenee ja samanaikaisesti ohitusmahdollisuudet pienenevät, lisääntyy jononmuodostus. Nousut vaikuttavat myös henkilöautojen nopeuksiin. Koska eri nousujen vaikutus liikennevirtaan on erilainen, ei kapasiteetin määrittäminen ole yhtä helppoa kuin palvelutasojen A-D palveluliikennemäärien määrittäminen yhtäjaksoisilla tieosuuksilla. Tehtävänä on toisaalta määrittää kapasiteetti ja toisaalta nopeus, jolla se saavutetaan /Lyly 1990/.

6.2.4 Kirjallisuustarkastelu

Kaksikaistaisen tien eri ajoneuvotyyppien vastaavuuskertoimien arvoina käytetään suomalaisessa laskentaohjeessa taulukossa 20 esitettyjä lukuja, jotka ovat melko lähellä HCM:ssä esitettyjä taulukon 21 mukaisia arvoja (taulukko 21).

Taulukko 21: HCM:n eri ajoneuvotyyppien vastaavuuskertoimet kaksikaistaisilla teillä /Highway ... 1985/.

VEHICLE TYPE	LEVEL OF SERVICE	TYPE OF TERRAIN		
		LEVEL	ROLLING	MOUNTAINOUS
Trucks, E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B and C	2.2	5.0	10.0
	D and E	2.0	5.0	12.0
RV's E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B and C	2.5	3.9	5.2
	D and E	1.6	3.3	5.2
Buses, E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B and C	2.0	3.4	6.0
	D and E	1.6	2.9	6.5

HCM:ssä on oletettu 50/50 jakautuma alle ja yli 16 t painaviin kuorma-autoihin taulukkoa 21 muodostettaessa. HCM:n mukaan sellaisilla kaksikaistaisilla teillä, joita käyttää epätavallisen suuri osuus raskaita kuorma-autoja, saattavat kuorma-autojen vastaavuusarvot olla suuremmat kuin taulukossa 21 esitetyt luvut.

Kanadassa kaksikaistaisilla teillä tehtyjen nopeustutkimusten /Aerde, Yagar 1984/ tuloksia käytettiin myös kuorma-autojen henkilöautoekvivalenttien

määrittämiseen. Kuorma-auton vastaavuuskertoimeksi saatiin 10. persentiiliin nopeudella 11.4, 50. persentiiliin nopeudella 6.1 ja 90. persentiiliin nopeudella 3.8.

Amerikkalaisessa tutkimuksessa, jossa selvitettiin nousujen vaikutusta liikennevirran tasaisuuteen ja tien välityskykyyn, muodostettiin simulointimalli, johon perustuen taulukossa 22 on esitetty kuorma-autojen nopeudesta riippuvat vastaavuuskertoimet pienillä liikennemäärillä.

*Taulukko 22: Kuorma-autojen nopeuden ja osuuden vaikutus kuorma-autojen henkilöautoekvivalentteihin pienillä liikennemäärillä kaksikais-
taisilla teillä amerikkalaisen tutkimuksen mukaan /Twin ...
1986/.*

Kuorma-auton nopeus pienillä liikennemäärillä (km/h)	Kuorma-auton henkilöautoekvivalentti (hay), kun kuorma-autojen osuus liikenteestä	
	8-9 %	18-21 %
80	7	3
64	16	9
48	29	17
32	51	32

Tutkimuksen perusteella vastaavuuskertoimet muodostuvat suuriksi, kun kuorma-autojen nopeus pienenee. Yksittäisen kuorma-auton vaikutus vähenee, kun niiden osuus liikennevirrassa kasvaa.

6.2.5 Ohituskaistat

Nykyinen menetelmä

Ohituskaistalla tarkoitetaan lisäkaistaa, joka sijaitsee ajosuuntaan katsottuna varsinaisen ajokaistan vasemmalla puolella. Ohituskaistoja voidaan käyttää sekä yksi- että kaksiajorataisilla teillä. Ohituskaistan rakentamisella voidaan -lisätä liikenteen sujuvuutta nousujen kohdalla,
-lisätä ohitusmahdollisuuksia, jolloin jonoontuminen vähenee, matkanopeudet kasvavat ja tien liikenteellinen palvelutaso paranee sekä
-parantaa turvallisuutta kaistan kohdalla sekä sen ulkopuolella.

Suomalaisen ohjeen mukaan ohituskaistan tarve määritetään liikennemäärän, liikenteen koostumuksen ja raskaan liikenteen nopeusprofiiliin avulla.

Valta- ja kantateillä sekä seudullisilla teillä suositellaan ohituskaistan rakentamista, jos raskaan auton nopeus laskee < 65 km/h kun KVL > 3000 ajon/vrk tai < 60 km/h kun KVL on 1500 - 3000 ajon/vrk. Jos raskaiden ajoneuvojen osuus poikkeaa huomattavasti keskimääräisestä, voidaan em. nopeus- ja liikennemäärärajajoista poiketa.

Erikseen tarkistetaan nopeusprofiilin avulla sellaiset tien kohdat, joissa raskas liikenne joutuu pysähtymään tai huomattavasti hidastamaan nopeuttaan (esim. liittymät, liikennevalot jne.). Tällaisissa kohdissa pitkäkö loivakin (1-2 %) nousu pidentää raskaan ajoneuvon kiihdytysmatkaa huomattavasti. Ohituskaistan rakentamista voidaan tällaisissa kohdissa harkita vilkasliikenteisillä teillä, jos ohitusmahdollisuutta ei ole ja, jos raskaan ajoneuvon nopeus ei saavuta 500 m matkalla nopeutta 60 km/h.

Ohituskaistan täysleveän osan pituus määritetään normaalisti mitoitusajoneuvon nopeusprofiilin avulla. Kaistan täysleveä osa alkaa viimeistään kohdasta, jossa mitoitusajoneuvon nopeus on laskenut arvoon 65 km/h. Kaistan täysleveä osa päätetään aikaisintaan kohtaan, jossa mitoitusajoneuvo jälleen saavuttaa nopeuden 60 km/h. Kun ohituskaistan aloitus- ja päättämiskohdat määritetään mitoitusajoneuvon nopeusprofiilin avulla, on valitun mitoitusajoneuvon tehopainosuhteella keskeinen merkitys. Suomalaisessa ohjeessa mitoitusajoneuvona käytetään kuorma-autoyhdistelmää, jonka tehopainosuhte on 5.4 kW/t. Kuvassa 28 on esitetty mitoitusajoneuvon kiihdytys- ja hidastusmatkojen käyrästä, jonka perusteella nopeusprofiili muodostetaan.

Kirjallisuustarkastelu

Itävallassa käytetään ohituskaistojen suunnittelussa mitoitusajoneuvoa, jonka mukaan lasketaan hitaan liikenteen nopeus. Ohituskaista mitoitetaan suunnitteludiagrammien avulla. Ne perustuvat henkilöautojen ja kuorma-autojen liikennemääriin sekä nousun jyrkkyyteen. Huomiota kiinnitetään myös riittäviin näkymiin.

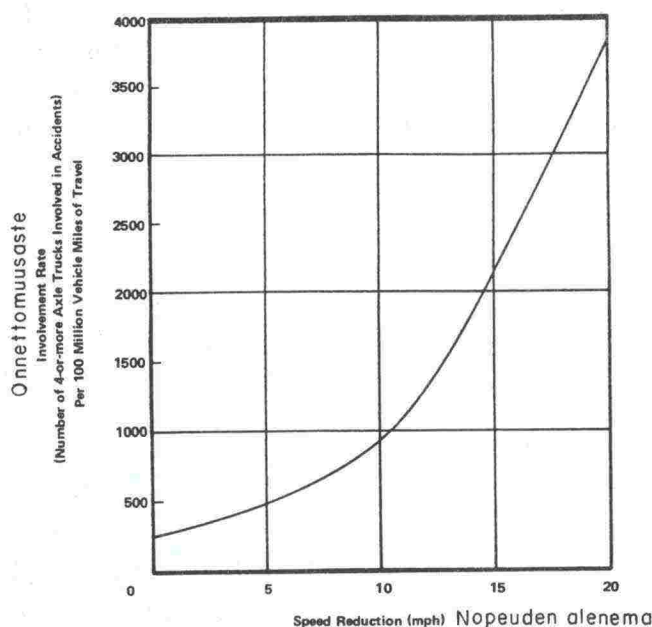
Saksassa ohituskaistan tarpeellisuus todetaan etäisyys/aika-diagrammin avulla, jota verrataan vastaavaan tieosan mitoitusnopeuteen.

Hollannissa käytetään kahta peruskriteeriä ohituskaistan tarpeellisuuden selvittämiseksi: nopeuden alenemaa (20 km/h) sekä kapasiteetin puutetta /Impacts ... 1983/.

USA:ssa ohituskaistan tarpeellisuuden toteaminen perustuu raskaan liikenteen ja henkilöautojen nopeuseroihin nousuissa. Kun mitoittava kuorma-auto (tehopainosuhte 5.5 kW/t) menettää nopeudestaan 10 mph (16 km/h), on syytä toteuttaa ohituskaista, koska muuta liikennettä hitaammin ajavan kuorma-auton onnettomuusaste nousee jyrkästi nopeuden alenemisen myötä (kuva 33) /A policy ... 1984/.

Suomessa VTT on tutkinut valtatielle 3 Tampereen ja Hämeenkyrön välille vuonna 1984 rakennettujen ohituskaistojen vaikutuksia liikennevirtaan /Ohituskaistatutkimus ... 1986/. Tampereen suuntaan rakennetun kaistan kohdalla tien keskimääräinen kaltevuusprosentti on 3.1 ja Hämeenkyrön kaistan

kohdalla kaltevuusprosentti on keskimäärin 3.0. Vastaavat ohituskaistojen pituudet alku- ja loppukiiloiheen ovat noin 3260 m ja 2740 m. Ohituskaistojen rakentamisen perusteluna oli raskaan liikenteen aiheuttama tien käyttönopeuden putoaminen pitkissä ja jyrkissä nousuissa, joissa raskaan liikenteen nopeudet laskevat keskimäärin 10 km/h. Raskaan liikenteen osuus valtatiellä 3 on melko suuri (n. 16 %), joten muukin liikenne hidastui nousuissa ja jonot lisääntyivät. Taulukossa 23 on esitetty ohituskaistojen vaikutukset ohitusten tiheyteen, matkanopeuksiin ja jonoprosenttiin eri tuntiliikennemäärillä.



Kuva 33: Neljä tai useampiakselisten kuorma-autojen onnettomuusaste muun liikenteen keskimääräisen nopeuden alituksen suhteen amerikkalaisissa olosuhteissa /A policy ... 1984/.

Taulukko 23: Tampereen ja Hämeenkyrön välille valtatielle 3 rakennettujen ohituskaistojen vaikutukset ohitusten tiheyteen, matkanopeuksiin ja jonoprosenttiin eri tuntiliikennemäärillä /Ohituskaistatutkimus ... 1986/.

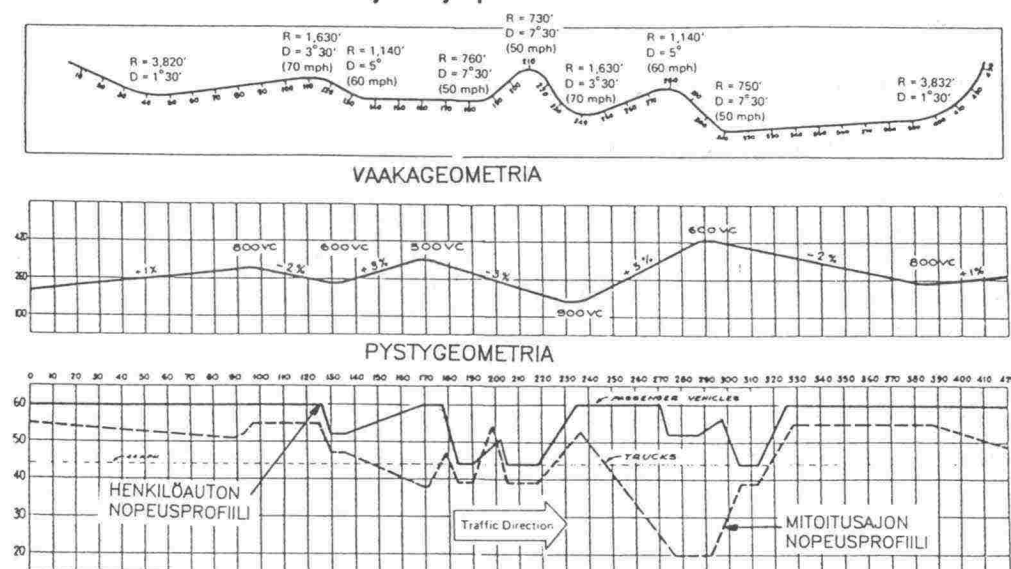
Ohit.- kaista (pit.)	Tuntiliikenne (ajon./h)		Ohitustih. muutos (oh./h/km)	Matkanop. muutos (km/h)	Jonopros. muutos (%-yks.)
3 - 4 2,7 km	Kulku- suunta	Vasta- suunta			
	110	130	+ 7	+ 3	- 2
	330	220	+ 60	+ 9	- 11
	420	220	+ 100	+ 5	- 8
	500	210	+ 170	+ 9	- 7
3 - 2 3,3 km	130	110	+ 8	+ 5	- 11
	220	420	+ 30	+ 6	- 13

Ohitusten tiheys tuntia ja kilometriä kohden kasvoi ohituskaistan ansiosta sitä selvemmin mitä vilkkaampaa liikenne kulkusuunnassa oli. Ohitusten seurauksena liikenteen matkanopeudet nousuosuuksilla kasvoivat liikennemäärästä riippuen 3-9 km/h. Samalla jonot purkautuivat niin, että hiljaisimpia mittaustunteja lukuunottamatta jonossa ajavien osuus väheni 7-13 prosentilla.

Ohituskaistan vaikutus liikennevirtaan näkyi myös kaistan jälkeisellä tieosuudella. Jonojen purkaututtua ajoneuvojen keskinopeudet lisääntyivät ohituskaistan jälkeisellä osuudella liikennemäärien kasvusta huolimatta 2 km/h:lla. Ohituskaistan vaikutus kaistan jälkeisiin liikenneolosuhteisiin on kuitenkin rajallinen. Noin 5 kilometrin päässä ohituskaistan lopusta jonoprosentti oli likimain sama kuin ennen ohituskaistaa.

Ohituskaistat hyödyttävät etenkin henkilöautoja, joiden nopeudet ja ohitukset lisääntyivät eniten. Ohituskaistat helpottivat kuitenkin huomattavasti myös raskaampien ajoneuvojen ohituksia. Ennen ohituskaistojen rakentamista näiden autojen oli vaikeata ohittaa muita ajoneuvoja etenkin nousuosuuksilla ko. ajoneuvojen vaatimien pitkien ohitusmatkojen vuoksi.

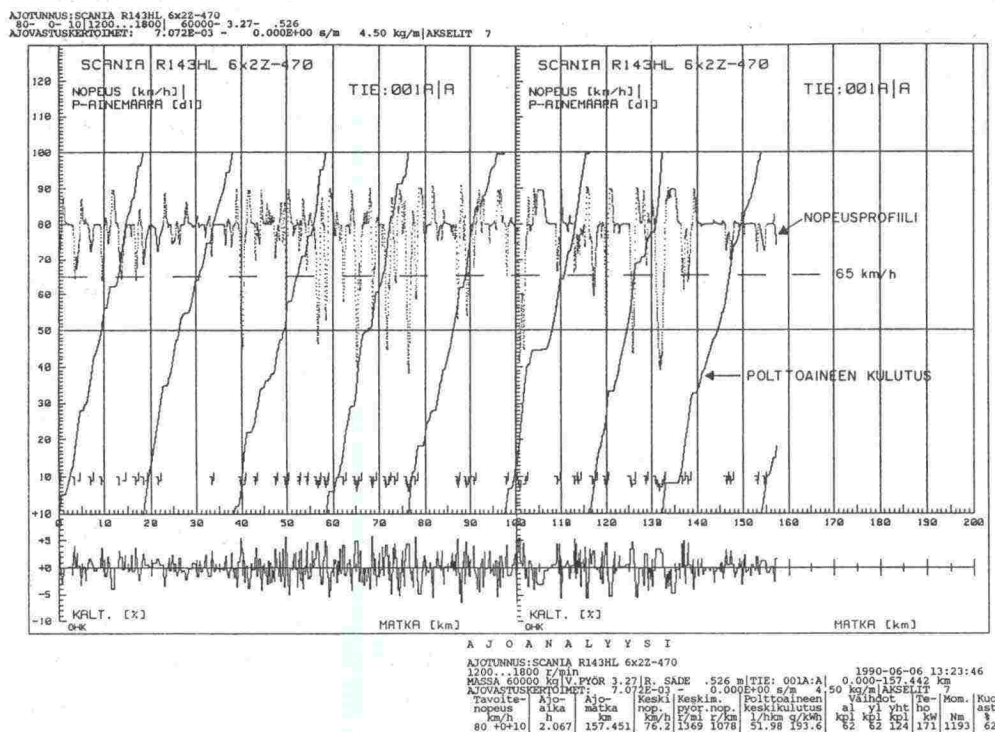
USA:ssa on ehdotettu /Smith 1986/ tien nopeusprofiiliin käyttöä ohituskaistan tarpeellisuuden toteamiseksi sekä käytössä olevilla teillä että suunnitelmissa. Nopeusprofiiliin piirretään sekä henkilöauton että mitoittavan kuorma-auton nopeus tien pystygeometrian perusteella vapaissa ajo-olosuhteissa (kuva 34). Nopeusprofiiliin avulla voidaan helposti määrittää ohituskaistan tarpeellisuuden toteamisen lisäksi kaistan sijainti ja pituus.



Kuva 34: Tien nopeusprofiili /Smith 1986/.

Suomessa on liikenneministeriössä /Koskinen 1990/ käytettävissä simulaattori, jota voidaan soveltaa erilaisiin raskaasta liikennettä koskeviin tarkasteluihin, kuten ohituskaistojen tarpeellisuuden määrittämiseen. Kuvassa 35 on

esitetty simulointiesimerkki, jossa täysperävaunullisella kuorma-autolla on "ajettu" Helsingistä Turkuun. Simulointimerkissä käytetyn kuorma-auton moottorin teho on 470 hv ja kokonaispaino 60 t eli yhdistelmän tehopainosuhte on 5.7 kW/t. Nopeusprofiilista käy havainnollisesti ilmi, missä simuloidun kuorma-auton nopeus putoaa alle 65 km/h, jolloin suunnitteluohjeen /Ohituskaistojen ... 1985/ perusteella tulisi harkita ohituskaistan rakentamista.



Kuva 35: Esimerkkiajo liikenneministeriön simulointimallilla /Koskinen 1990/.

6.3. Valo-ohjaamaton tasoliittymä

6.3.1 Nykyinen menetelmä

Kun sivutieltä tuleva ajoneuvo haluaa ylittää päätien tai liittyä sen liikennevirtaan, edellyttää se riittävän pitkää aikaväliä päätien liikennevirrassa. Siitä syystä sivutien välityskyky riippuu päätien liikennemäärästä sekä sen aikavälin suuruudesta, jonka sivutien ajoneuvo hyväksyy eli pitää riittävän turvallisenä yhteenajon välttämiseksi. Tämän aikavälin suuruus vaihtelee kuitenkin eri kuljettajilla, mistä syystä on määriteltävä keskimääräinen hyväksytty aikaväli eli ns. kriittinen aikaväli (raja-aikaväli) /Lyly/.

Valo-ohjaamattoman tasoliittymän välityskykytarkasteluissa käytetään Suomessa lähinnä CAPCAL-tietokoneohjelmaa, joka perustuu Ruotsin tielaitoksen välityskykykäsikirjaan /Beräkning... 1977/. Ruotsalaisessa menetelmässä on sovellettu kehittyntä jonoteoriaa. Tiehallituksessa menetelmää on täydennetty HCM-85 mukaisilla palvelutasotarkasteluilla ja siitä on myös laadittu nomogrammeja, joiden avulla voidaan tehdä nopeasti alustavia tarkasteluja.







HCM:n vuoden 1985 laitoksen menetelmä on alunperin kehitetty Saksassa ja se on esitetty OECD:n julkaisussa "Capacity of at Grade Junctions".

Ruotsalaisen menetelmän lähtökohtana on kahden yksisuuntaisen risteävän liikennevirran välinen häiriötilanne, jossa toinen liikennevirta (sivuvirta) on väistämisvelvollinen toiseen nähden (päävirta). Välituskyyky ja kuormitusaste lasketaan palveluajan perusteella. Palveluajalla tarkoitetaan aikaa, jonka sivuvirran ajoneuvo joutuu odottamaan ollessaan ensimmäisenä jonossa ennen liittymistä tai risteämistä päävirran kanssa. Sivuvirran ja palveluajan perusteella lasketaan myös jonon pituus ja pysähtymään joutuneiden osuus.

Menetelmän päävaiheet ovat:

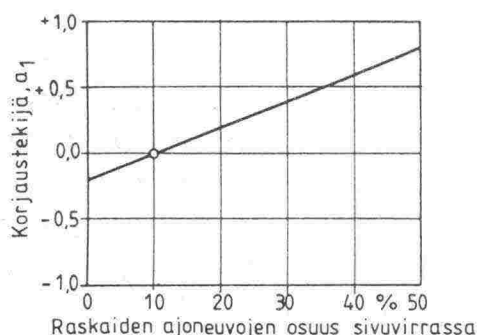
1. Liittymän jako osatulosuuntiin
2. Jokaiselle väistämisvelvolliselle eli sivuvirralla määritellään päävirrat
3. Kriittisen aikavälin määrittäminen
4. Palveluajan määrittäminen
5. Osaliikennevirtojen kuormitusasteiden laskeminen
6. Osatulosuunnan kuormitusasteen ja välityskyvyn laskenta
7. Jononpituuden laskenta
8. Pysähtymään joutuvien osuuden määrittäminen
9. Viivytyksen (odotusajan) laskeminen

Kuorma-autojen vaikutus valo-ohjaamattoman liittymän välityskykyyn on otettu huomioon kohdassa 3, jossa liittymän jokaiselle sivuvirralla lasketaan kriittinen aikaväli. Ensimmäisenä valitaan kullekin sivuvirralla kriittisen aikavälin perusarvo A_0 (s) seuraavasta taulukosta /Liikenne ja väylät I 1987/:

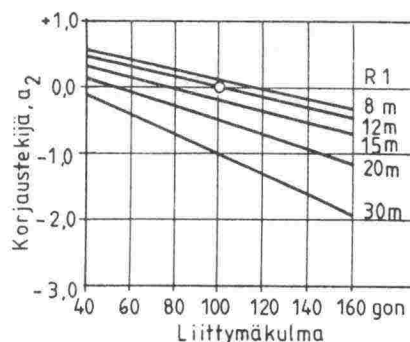
Liikennevirta	Päätien nopeusrajoitus							
	50 km/h		60 km/h		80 km/h		100 km/h	
								
Pääsuunnasta vas. kääntyvä	5.0	—	5.4	—	6.2	—	6.8	—
Liittyvästä suunnasta oik. kääntyvä	4.8	5.5	5.4	6.0	6.4	6.9	7.0	7.5
Liittyvästä suunnasta suoraan ajava	5.6	6.4	6.0	6.8	6.7	7.4	7.2	7.8
Liittyvästä suunnasta vas. kääntyvä	5.9	6.7	6.4	7.2	7.3	8.1	8.0	8.8

Tämän jälkeen määrätään kriittisen aikavälin korjaustekijät seuraavista diagrammeista ja taulukoista. Menetelmässä ei ole eritelty eri ajoneuvoryhmiä ja -tyyppejä (vapaa-ajan ajoneuvot, linja-autot, perävaunuttomat kuorma-autot, perävaunulliset kuorma-autot), vaan raskaiden ajoneuvojen vaikutuksen arviointi perustuu niiden osuuteen sivuvirrassa.

Raskaiden ajoneuvojen aiheuttama korjaustekijä, a_1 (s). Kaikki sivuvirratt.



Liittymäkulman ja liittymäkaarten säteen aiheuttama korjaustekijä, a_2 (s). Liittävän suunnan oikealle kääntyvät.



Liittymän laajentamisen ja päätien poikkileikkauksen aiheuttama korjaustekijä, a_3 (s).

Liitt.s. suor.ajavat ja vas.kääntyvät.

Liittymätyyppi	Päätien kaistojen lukumäärä molempiin suuntiin yhteensä		
	2	3—4	> 4
tavanom.	0	+0.3	+0.6
ositt. laaj.	+0.2	+0.5	+0.8
laajennettu	-0.5	0	+0.3

Taajamakoon aiheuttama korjaustekijä, a_4 (s).

Kaikki sivuvirratt

Taajamakoko (1 000 asuk.)	Korjaustekijä a_4 (s)
< 30	+0.2
30—300	0
> 300	-0.8
maaseutu	+0.2

Vain liittyvästä suunnasta oikealle kääntyvä.

Vain liittyvästä suunnasta suoraan ajava ja vasemmalle kääntyvä.

Lasketaan kriittinen aikaväli A (s)

Pääsuunnan vasemmalle kääntyvät $A = A_0 + A_1 + A_4$

Liittävän suunnan oikealle kääntyvät $A = A_0 + A_1 + A_2 + A_4$

Liittävän suunnan suoraan ajavat ja vasemmalle kääntyvät $A = A_0 + A_1 + A_3 + A_4$

Jos esimerkiksi raskaiden ajoneuvojen osuus sivuvirrassa on 30 %, lisätään kriittisen aikavälin perusarvoon 0.4 s suuruinen korjaustekijä.

Vaiheessa 4 määritetään jokaiselle sivuvirralle laskettuun kriittiseen aikaväliin palveluaika, jonka perusteella liittymän välityskyky ja kuormitusaste lasketaan.

Raskaiden ajoneuvojen vaikutus on erikseen otettu huomioon vielä kohdassa seitsemän. Kun maksimijononpituus on saatu ajoneuvoina, lasketaan maksimijononpituus metreinä kertomalla ajoneuvojen lukumäärä termillä $(7.5 \text{ m} + P_r \times 5/100 \text{ m})$, jossa P_r = raskaiden ajoneuvojen osuus liikennevirrassa.

Suomessa menetelmää on täydennetty HCM-85 mukaisilla palvelutasoilla. Palvelutaso määräytyy kunkin kaistan välityskyvyn ja liikennemäärän erotuksen (käyttämätön välityskyky) perusteella. Taulukossa 24 on esitetty raja-arvot liikenteellisille palvelutasoille.

Taulukko 24: Palvelutasot valo-ohjaamattomassa tasoliittymässä.

Käyttämätön välityskyky (hay/h)	Liikenteellinen palvelutaso LPT	Sivusuunnan viivytys
>400	A	Hyvin pieni
300-399	B	Pieni
200-299	C	Keskimääräinen
100-199	D	Suuri
0-99	E	Hyvin suuri
*)	F	*)

*)Kun liikenteen kysyntä ylittää välityskyvyn, viivytykset ja jonot ovat erittäin suuret. Samalla voivat myös muut tulosuunnat ruuhkautua.

Kuorma-autojen vaikutukset palvelutasoon otetaan huomioon muuttamalla käyttämätön välityskykyarvo henkilöautoyksiköiksi seuraavassa asetelmassa esitettyjen arvojen mukaisesti.

	Tasainen maasto	Mäkinen maasto	Vuoristoinen maasto
Kuorma-auton henkilöautoekvivalentti	1.7	4.0	8.0

6.3.2 Kirjallisuustarkastelu

HCM:n (1985) menetelmässä liikennevirrassa esiintyvät kuorma-autot muunnetaan henkilöautoyksiköiksi seuraavan asetelman mukaisilla arvoilla.

Henkilöautoyksiköt valo-ohjaamattomassa tasoliittymässä

	Nousu (%)				
	-4	-2	0	+2	+4
KAIP	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0
KAPP ja KATP	1.2	1.5	2.0	3.0	6.0

Jos liittymän liikenteestä merkittävä osa koostuu kuorma-autoyhdistelmistä, ovat kuorma-autojen yleisesti käytetyt henkilöautoekvivalenttien arvot 1.5:stä 3.5:een liian alhaisia kanadalaisten havaintojen perusteella /Hutchinson, Green, Haas, 1989/.

Suomessa sovelletaan usein sekä valo-ohjaamattomien että valo-ohjattujen tasoliittymien välityskykytarkasteluissa CAPCAL-tietokoneohjelmaa, joka perustuu ruotsalaiseen välityskykykäsikirjaan /Beräkning...1977/. Menetelmässä raskaan liikenteen vaikutus on otettu huomioon prosenttiosuutena liikennevirrasta. Koska täysperävaunullisten kuorma-autojen osuus sekä kuorma-autokannasta että kuorma-autojen liikennesuoritteesta on kasvanut voimak-

kaasti, saattaa saman raskaan liikenteen osuuden vaikutus liittymän välityskykyyn olla nykyisin suhteellisesti suurempi kuin aikaisemmin.

6.4 Valo-ohjattu tasoliittymä

6.4.1 Nykyinen menetelmä

Valo-ohjauksisen tasoliittymän toiminnan laskeminen on periaatteessa helpompaa kuin ohjaamattoman tasoliittymän, koska sen toiminta on säännöllisempää. Punaisen valon aikana tulevat ajoneuvot joutuvat pysähtymään ja vihreän vaiheen alkaessa jatkavat matkaa melko tasaisin aikavälein.

Koska valo-ohjauksisen tasoliittymän kunkin tulosuunnan välityskyky riippuu voimakkaasti käytetystä ajoituksesta, on menetelmiin usein yhdistetty ajoituksen suunnittelu. Liikennevalojen ajoitusta varten on laadittu lukuisia eri tietokoneohjelmia ja laskentamenetelmiä. Ruotsalaisessa välityskykyasiakirjassa /Beräkning av... 1977/ esitetty menetelmä sisältää sekä ajoituksen, että valo-ohjaamatonta tasoliittymää vastaavat välityskykylaskelmat. Menetelmän pohjalta on kehitetty CAPCAL-tietokoneohjelma, jota Suomessa on täydennetty HCM-85 mukaisilla palvelutasoilla.

Ruotsalainen menetelmä soveltuu lähinnä aikaohjauksisten valojen laskentaan, mutta myös liikenneohjauksisten valojen käsittely on mahdollista. Ajoituksessa pyritään minimoimaan keskimääräinen viivytys vallitsevassa kuormitustilanteessa. Laskelmissa selvitetään myös saadun optimiajoituksen mukainen välityskyky, pysähtymään joutuvien ajoneuvojen osuus ja viivytykset tulosuunnittain, välityskyvyn määräävät tulosuunnan kaistaluku, kaistojen kyllästysliikennemäärät sekä vihreän ajan osuus tulosuunnalla. Koska kyllästysliikennemäärien määrääminen edellyttää tietoa valojen ajoituksesta, on laskelmat suoritettava kahdessa vaiheessa. Ensimmäisellä kerralla lasketaan ajoitus käyttämällä karkeita arvioita kyllästysliikennemääristä. Saadut tulokset lähtökohtana suoritetaan toinen laskentakierros lopullisen ajoituksen ja seurantavaikutusten selvittämiseksi /Kivelä, Pursula 1982/.

Menetelmän päävaiheet ovat

A. Ensimmäinen laskentakierros

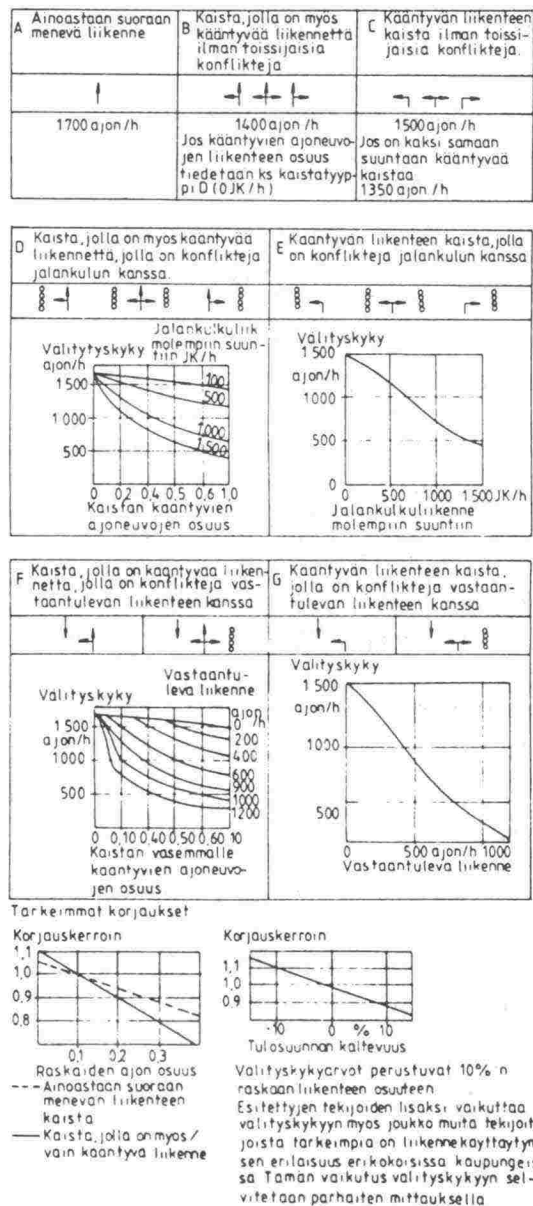
1. Vaihejaon suunnittelu
2. Kaistatyytit ja niiden kyllästysliikennemäärät
3. Kiertoajan ja vihreiden aikojen laskeminen

B. Toinen laskentakierros

1. Kyllästysliikennemäärien tarkistus
2. Kiertoajan ja vihreän ajan jakaminen

3. Väliytiskyvyn laskeminen
4. Jonon pituudet
5. Pysähtymään joutuvien määrä
6. Viivytykset

Kuorma-autojen vaikutus valo-ohjauksisen tasoliittymän väliytiskyvyn on otettu huomioon ensimmäisen laskentakierroksen kohdassa 2 ja toisen laskentakierroksen kohdassa 1, joissa kullekin kaistatyypille määrätään kyllästymisliikennemäärät S_i (ajon./vihreä tunti) kuvan 36 perusteella. Mene- telmässä ei ole eritelty eri ajoneuvoryhmiä ja -tyyppejä, vaan raskaiden ajoneuvojen vaikutuksen arviointi perustuu niiden osuuteen kaistan liikenne- virrasta.



Kuva 36: Valo-ohjatun tasoliittymän kyllästymisliikennemäärät ja korjaustekijät ruotsalaisessa menetelmässä /Liikenne ja väylät I 1987/.

Kaistan välityskyky (K_i , ajon./h) lasketaan kaavasta

$$K_i = \frac{g_i}{c} s_i$$

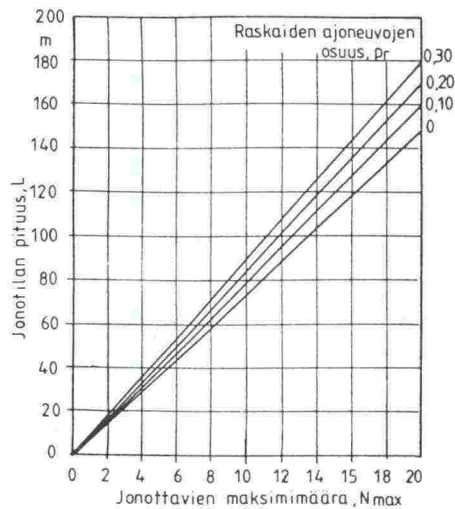
g_i = vihreä aika (s)

c = kiertoaika (s)

s_i = kyllästymisliikennemäärä (ajon./h)

Kuormitusaste saadaan kaistan liikennemäärän ja välityskyvyn suhteena.

Raskaiden ajoneuvojen vaikutus on otettu huomioon erikseen vielä toisen laskentakierroksen kohdassa 4, jossa jonon pituus katsotaan raskaiden ajoneuvojen osuuden perusteella kuvan 37 perusteella.



Kuva 37: Jonon pituus valo-ohjatussa liittymässä ruotsalaisessa menetelmässä /Liikenne ja väylät I 1987/.

Suomessa menetelmää on täydennetty HCM-85 mukaisilla palvelutasoilla. Palvelutaso määräytyy toisen laskentakierroksen kohdassa 6 laskettavien viivytys perusteella. Taulukossa 25 on esitetty palvelutasojen viivytykseen perustuvat kriteerit.

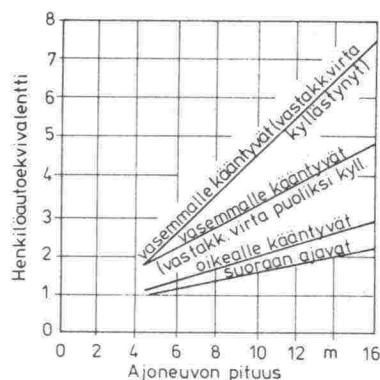
Taulukko 25: Palvelutasot valo-ohjatussa tasoliittymässä.

Liikenteellinen palvelutaso	Odotusaika (s/ajon.)
A	< 5.0
B	5.1 - 15.0
C	15.1 - 25.0
D	25.1 - 40.0
E	40.1 - 60.0
F	> 60.0

6.4.2 Kirjallisuustarkastelu

Kuorma-autojen koko sekä niiden kiihdytys- että jarrutusominaisuudet vaikuttavat liittymien liikennevalojen ajoitukseen ja välityskykyyn. Raskaalle liikenteelle liikennevaloihin pysähtymisestä on suhteessa enemmän haittaa kuin henkilöautoille, koska raskaiden autojen jarrutusmatkat ovat pidempiä ja kiihdytys takaisin väylänopeuteen vaatii huomattavasti enemmän aikaa kuin henkilöautoilla. Lisäksi liikennevaloihin pysähtynyt raskas auto aiheuttaa viivytystä myös muulle ajoneuvoliikenteelle. Yleisten teiden valo-ohjauksillisten tasoliittymien suunnitteluohjeen /Yleisten ... 1988/ mukaan raskaiden autojen suosintaa niiden pysähdysten vähentämiseksi tulisi pyrkiä käyttämään ainakin sellaisissa liikennevaloliittymissä, joissa on paljon raskasta liikennettä (> 12...15 %), ja/tai joissa on suhteellisen suuret pituuskaltevuudet liittymässä ja sen lähialueella.

Englantilaisessa tutkimuksessa on havaittu kuvan 38 mukaiset henkilöautoekvivalenttien arvot valo-ohjauksellisessa liittymässä, jossa kääntyville ei ole omaa vaihetta /Liikenne ja väylät I 1987/.



Kuva 38: Eri pituisten ajoneuvojen henkilöautoekvivalentit valo-ohjauksellisessa liittymässä, jossa kääntyville ei ole omaa vaihetta, englantilaisen tutkimuksen perusteella /Liikenne ja väylät I 1987/.

General Motors'in tutkijat /Evans, Rothery 1981/ havainnoivat sellaisia liittymiä, joissa ajoneuvoja oli aina enemmän odottamassa kuin vihreän valon aikana pystyi liittymään läpäisemään. Ajoneuvon koon mittarina tutkijat käyttivät akseleiden lukumäärää. He päätyivät seuraaviin johtopäätöksiin:

Kyllästymisliikennemäärä kasvaa, kun autojen koko pienenee. Kun jononjohtajana on ajoneuvo, jonka suorituskyky on matala, kyllästymisliikennemäärä pienenee.

Kuorma-autoyhdistelmät ovat jononjohtajia suhteellisesti muita ajoneuvoja enemmän.

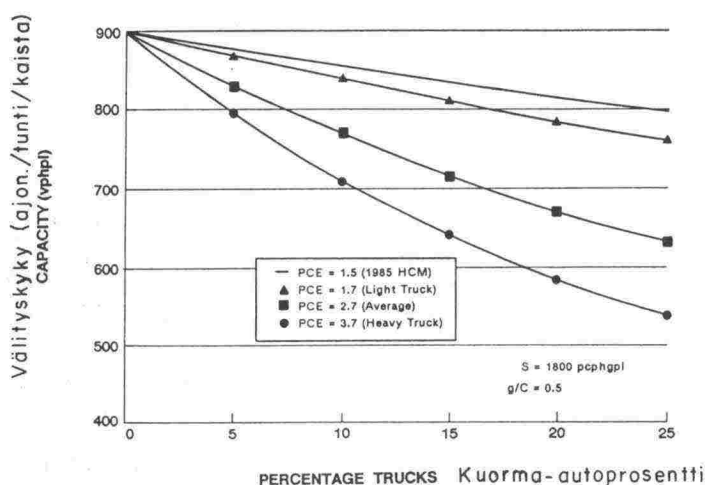
Automaattisia liikenteenohjausjärjestelmiä tulisi kehittää siten, että kuorma-autoyhdistelmien todennäköisyys joutua jononjohtajiksi pienenee.

Kuorma-autoyhdistelmät ajoivat suhteellisesti enemmän päin punaista kuin henkilöautot.

Tutkimuksessa havaittiin seuraavan asetelman mukaiset henkilöautoyksikköjen arvot ajoneuvojen akselien lukumäärän mukaan jaoteltuina.

Ajoneuvon akselien lukumäärä	Ajoneuvo jononjohtajana	Ajoneuvo ei jononjohtajana
kpl	hay	hay
3	2.52	2.22
4	3.44	2.46
5	4.11	2.76
6	5.49	3.19

Amerikkalaisessa tutkimuksessa /Providing ...1989/ on selvitetty erilaisten kuorma-autojen henkilöautoekvivalenttien suuruutta tasaisissa valo-ohjauksissa liittymissä. Tutkimuksessa vertailtiin ainoastaan henkilöautoja sisältävän jonon sekä sellaisen jonon, joka koostui henkilöautoista ja yhdestä kuorma-autosta, liittymän läpäisyn matka-aikoja. Kuorma-autojen asema jonossa vaihteli. Kuorma-autot jaettiin tulosten perusteella keveisiin kuorma-autoihin (light truck, tyypillisesti pieni jakelukuorma-auto) ja raskaisiin kuorma-autoihin (heavy truck, viisi- tai useampiakseliset kuorma-autoyhdistelmät). Keveiden kuorma-autojen henkilöautoekvivalentti oli 1.7 ja raskaiden 3.7. Kuten kuvassa 39 on esitetty, olivat molempien kuorma-autoluokkien henkilöautoekvivalenttien arvot suurempia kuin HCM-85:ssä vastaavassa tilanteessa suositeltu arvo 1.5.



Kuva 39: Valo-ohjauksisen tasoliittymän välityskyvyn vähennys kuorma-autojen osuuden suhteen amerikkalaisen tutkimuksen perusteella /Providing ... 1989/.

Kyllästymisliikennemäärä = 1800 ha/tunti/kaista

Minimivihreä aika/kiertoaika = 0.5

hay = 1.5 (HCM 1985)

hay = 1.7 (kevyt kuorma-auto)

hay = 2.7 (keskimääräinen kuorma-auto)

hay = 3.7 (raskas kuorma-auto)

7 TUTKIMUKSET

7.1 Mittaukset

7.1.1 Mittausjärjestelyt ja aineiston käsittely

Tiehallitus on marraskuun 1989 alusta lukien ryhtynyt laskemaan pääteiden liikennettä automaattisesti 150 pisteessä. Myös autojen painoja on alettu mitata: ensimmäinen automaattivaaka asennettiin Porvoon Ritassa sijaitsevalle mittauspisteelle. Uudet mittauslaitteet rekisteröivät ohiajavia ajoneuvoja jatkuvasti. Ajoneuvon ohitusajan lisäksi laitteet merkitsevät muistiinsa ajoneuvon nopeuden, ajosuunnan, pituuden sekä painon niillä mittauspisteillä, joille automaattivaaka on asennettu (joulukuussa 1990 8 vaakaa).

Havaintoaineisto kerättiin 22.8.1990 klo 5.30 -20.00 (poislukien yhteensä 1 h pituiset tauot) Porvoon Ritassa valtatie 7:llä, jossa 638:n kuorma-auton painot ja rekisteritunnukset tallennettiin. Kun kuorma-auto lähestyi havainnointipistettä, luettiin sen rekisterinumero ääninauhalle. Tämän jälkeen todettiin kuorma-auton paino automaattivaa'an (näyttötarkkuus 0.1 t) näyttölaitteesta ja tallennettiin kunkin kuorma-auton rekisteritunnuksen yhteyteen. Ennen klo 11.00 havainnointiin vain Helsingistä poispäin ajaneiden kuorma-autojen tiedot. Tämän jälkeen tallennettiin aina havainnointiajan loppuun asti sekä Helsingistä poispäin että Helsingin suuntaan ajaneiden kuorma-autojen tiedot. Tutkimuspäivältä tallennettiin myös jokaisen mittauspisteen sivuuttaneen ajoneuvon ohitusajankohta, nopeus, ajosuunta, pituus ja paino automaattisen liikennelaskurin kerääminä. Laskuri jaottelee ajoneuvot pituuden mukaan kolmeen ryhmään:

- lyhyet ajoneuvot, pituus 0-6 m
- keskipitkät ajoneuvot, pituus 6-12 m
- pitkät ajoneuvot, pituus yli 12 m.

Ritan mittauspiste on moottoriliikennetiellä, jolle on rakennettu leveät pientareet. Kun eräät kuorma-autot antoivat tilaa ohittajille ja ajoivat näin osittain pientareella, oli vaa'an näille kuorma-autoille ilmoittama painolukema tällöin todennäköisesti liian pieni. Näiden kuorma-autojen tehopainosuhte oli todellisuudessa pienempi, kuin vaa'an näyttämän painolukeman perusteella laskettu arvo. Vaa'an kohdalla pientareella ajaneiden kuorma-autojen määrä oli kuitenkin pieni. Jos erisuuntaan ajaneet kuorma-autot sattuivat vaa'alle samanaikaisesti, ei näiden painoja ollut mahdollista yksilöidä ja tällöin tietoa ei tallennettu. Näiden tapausten määrä oli kuitenkin vähäinen.

Kuorma-autojen rekisteritunnukset ja vastaavat painot purettiin ääninauhalta ja tallennettiin. Tämän jälkeen valtion tietokonekeskukselta saatiin kuorma-autojen rekisteritunnusten perusteella vastaavat kuorma-autojen tehot. Kun Ritassa havaittiin 638 kuorma-autoa, löytyi näistä 484:lle (76 %) teho ajoneu-

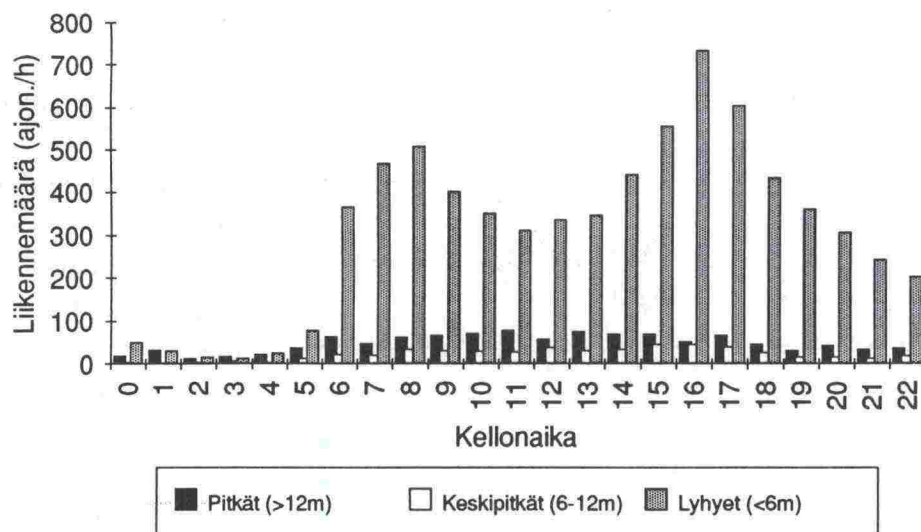
vorekisteristä. Kuorma-autojen tehotieto on merkitty rekisteriin sitä varmemmin, mitä uudempi kuorma-auto on (vuosina 1983-1990 käyttöönotetuista kuorma-autoista 94.6 %:lle on teho merkitty rekisteriin). Koska kuorma-autojen moottorien tehot ovat vuosittain nousseet (taulukko 6), voidaan olettaa, että Ritan havaintoaineistossa ovat keskimääräistä tehokkaammat kuorma-autot ylliedustettuina. Liitteessä 1 on esitetty, kuinka suuresta osasta eri vuosina käyttöönotetuista kuorma-autoista on tehotieto merkitty ajoneuvo-rekisteriin.

7.1.2 Tulokset

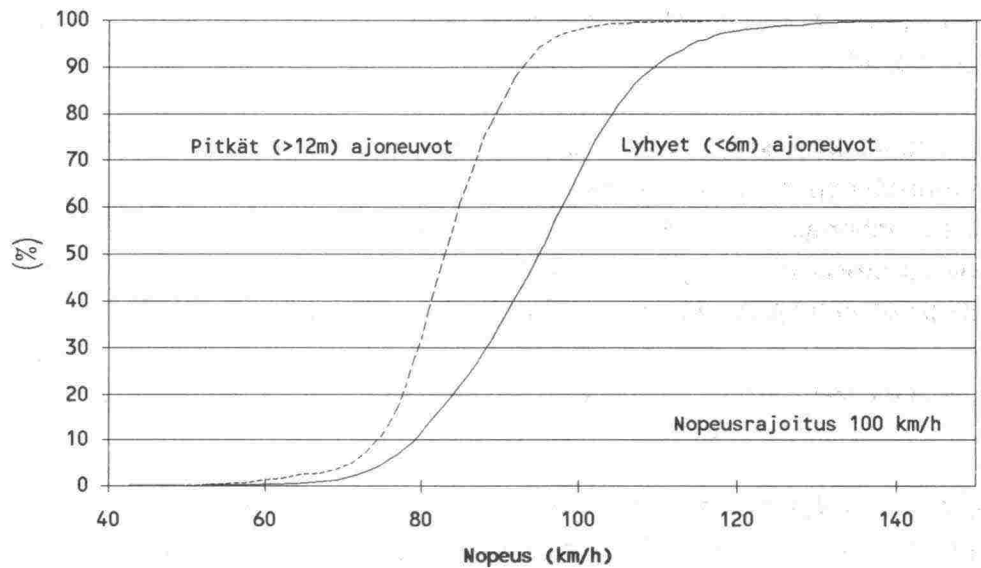
Tutkimuspäivänä 22.8.1990 klo 00.00 - 23.00 Ritan mittauspisteen ohitti automaattisen mittauslaitteen mukaan yhteensä 8790 ajoneuvoa, joista yli 12 metriä pitkiä eli lähinnä kuorma-autoyhdistelmiä oli 1106 kpl. Alle 6 metrin pituisia eli lähinnä henkilö- ja pakettiautoja oli 7174 kpl sekä 6-12 metrin pituisia eli lähinnä kuorma-autoja ilman perävaunua ja linja-autoja oli 510 kpl. Kuvassa 40 on esitetty näiden ajoneuvoryhmien tunnitaiset liikennemäärät. Keskipitkien ja pitkien ajoneuvojen tuntiliikennemäärät olivat melko tasaiset klo 6-18.

Kuvassa 41 on esitetty Ritan mittauspisteen 22.8.1990 klo 00.00 - 23.00 ohittaneiden lyhyiden (< 6 m) ja pitkien (> 12 m) ajoneuvojen nopeuksien jakautumat. Seuraavaan asetelmaan on merkitty näiden ajoneuvoryhmien 12.5 %:n, 50 %:n ja 87.5 %:n nopeuspersentiilit.

	Nopeuspersentiili (km/h)		
	12.5 %	50 %	87.5 %
Lyhyet (< 6 m) ajoneuvot	80.5	90.0	107.8
Pitkät (> 12 m) ajoneuvot	75.5	83.0	91.8

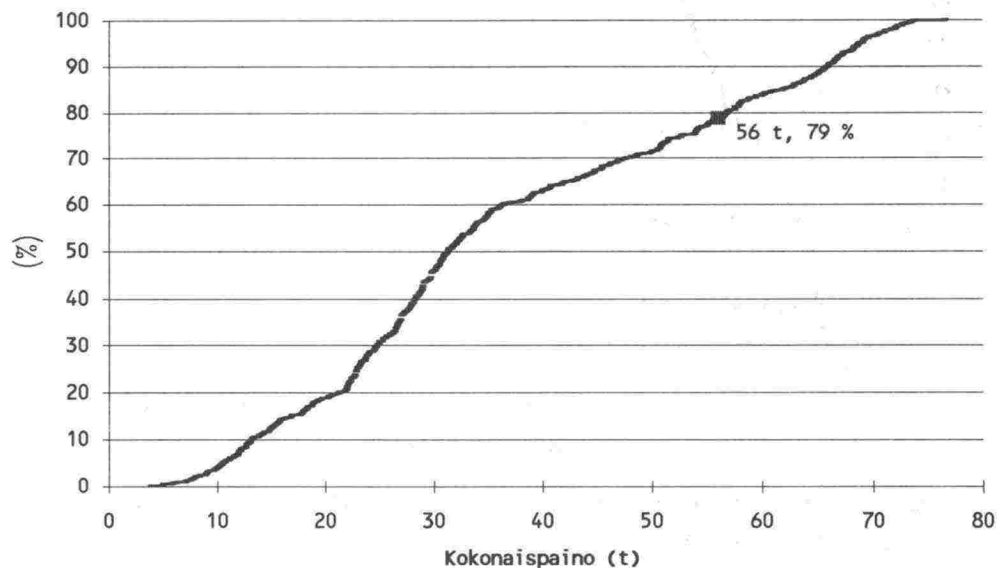


Kuva 40: Tuntiliikennemäärät Porvoon Ritassa valtatie 7:llä 22.8.1990 klo 00.00-23.00 ajoneuvojen pituuden mukaan luokiteltuna.



Kuva 41: Lyhyiden (< 6m) ja pitkien (> 12m) ajoneuvojen nopeusjakautumat Porvoon Ritassa valtatie 7:llä 22.8.1990 klo 00.00-23.00.

Kuvassa 42 on esitetty Ritan mittauspisteellä havaittujen kuorma-autojen kokonaispainojen jakautuma 22.8.1990 klo 5.30 - 20.00. Suurimman sallitun kokonaispainon ylitti 21 % kuorma-autoista.



Kuva 42: Porvoon Ritassa valtatie 7:llä 22.8.1990 klo 5.30-20.00 havaittujen kuorma-autojen kokonaispainojen jakautuma.

Ohituskaistojen suunnittelussa /Ohituskaistojen... 1985/ käytetyn mitoitusajoneuvon, jonka avulla määrätään ohituskaistan tarvittava pituus, tehopainosuhte on 5.4 kW/t. Ritassa tehtyjen havaintojen perusteella 30.4 % kuorma-autoista alitti tämän tehopainosuhteen. Kun ajoneuvoasetuksen tehopainosuhtevaatimus on 4.4 kW/t, oli aineistossa 11.2 % sellaisia kuorma-autoja, joiden tehopainosuhte oli alle 4.4 kW/t. Kuvaan 43 on merkitty Ritan mittauspistees-

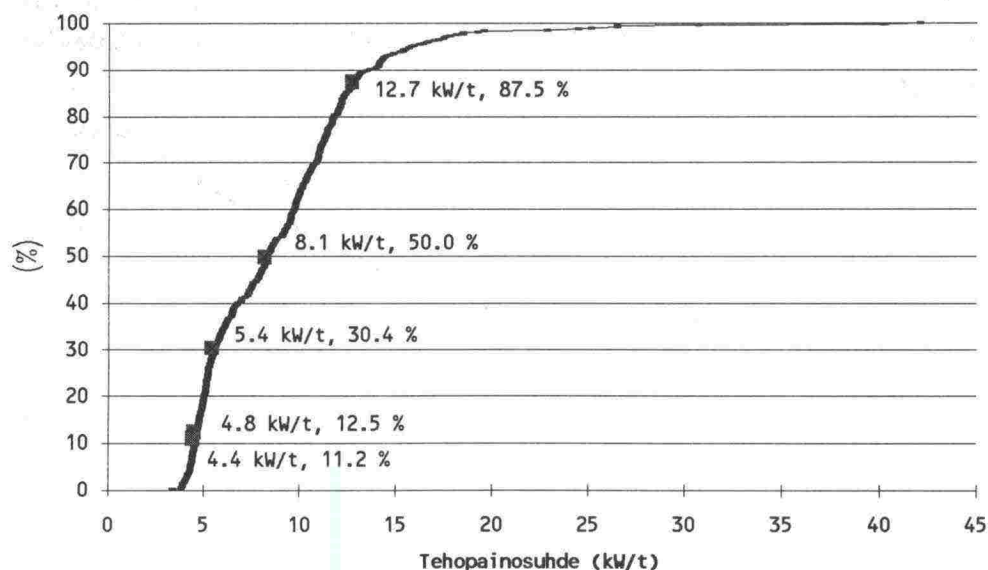
sä havaittujen kuorma-autojen tehopainosuhteiden jakautuma 22.8.1990 klo 5.30 - 20.00.

Kuvassa 44 on esitetty Ritassa havaittujen kuorma-autojen tehopainosuhteet kokonaispainojen suhteen. Kun kuorma-auton kokonaispaino kasvaa, pienenee sen tehopainosuhte Ritan havaintoaineiston perusteella. Aineistoon on sovitettu kuvassa 44 esitetty (yhtenäinen viiva) malli, jossa kuorma-auton tehopainosuhdetta on selitetty sen kokonaispainon avulla:

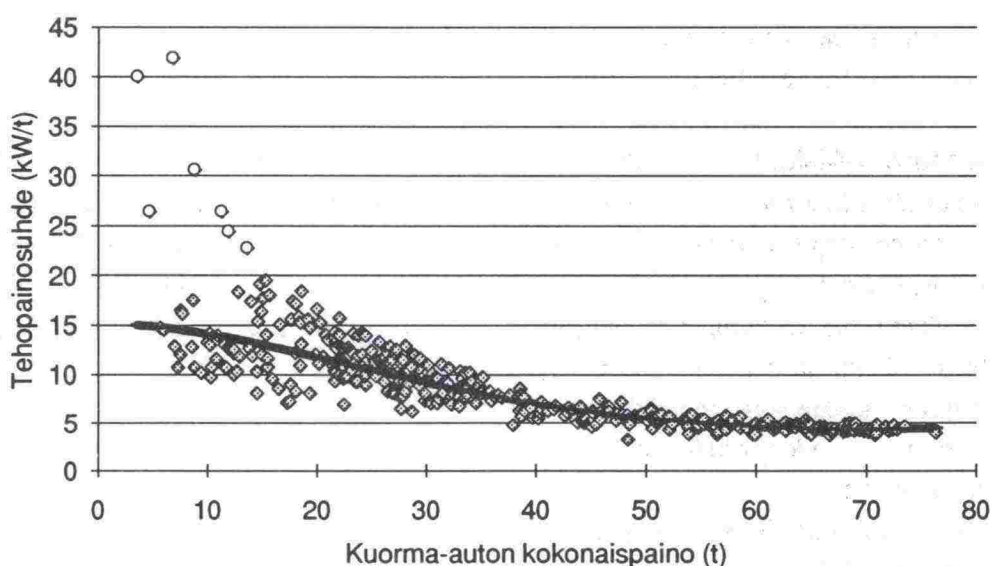
$$\text{Tehopainosuhte} = \exp[2.715 - 77.2 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{kok.paino})^2 + 0.737 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{kok.paino})^3],$$

$$R^2 = 87 \%$$

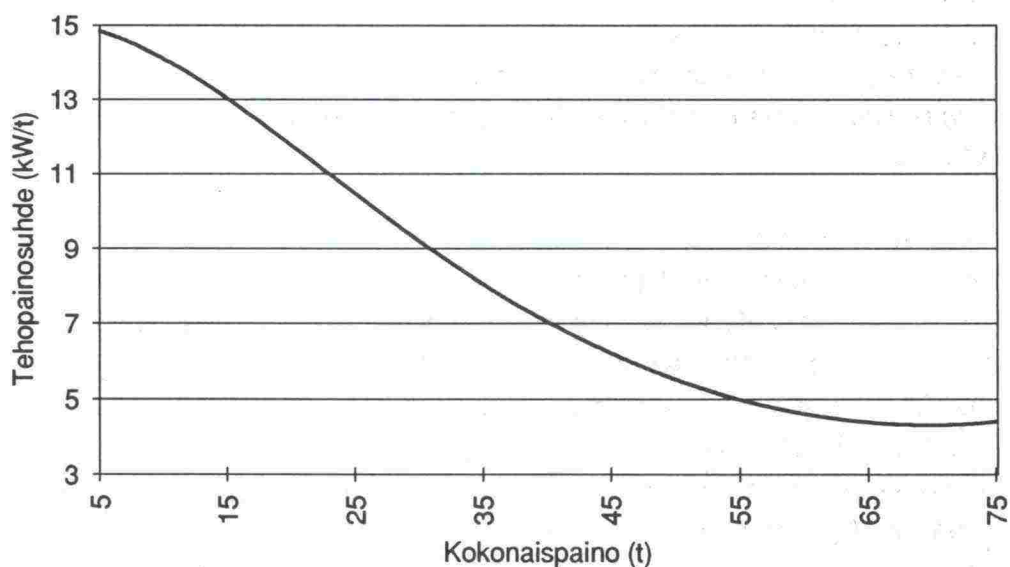
Mallia muodostettaessa jätettiin kuvaan 44 ympyrällä merkityt yksittäiset havainnot pois aineistosta. Kuva 45 on muodostettu kuorma-auton tehopainosuhdetta sen kokonaispainon avulla selittävän mallin perusteella. Kun kuorma-autoyhdistelmän kokonaispaino ylittää 51 t, on sen tehopainosuhte mallin perusteella alle 5.4 kW/t.



Kuva 43: Porvoon Ritassa valtatie 7:llä 22.8.1990 klo 5.30-20.00 havaittujen kuorma-autojen tehopainosuhteiden jakautuma. Kuvaan on merkitty ohituskaistojen suunnittelussa käytetyn mitoitusajoneuvon tehopainosuhdetta (5.4 kW/t) ja ajoneuvoasetuksen tehopainosuhteavaatimusta (4.4 kW/t) vastaavat %-arvot. Lisäksi kuvaan on merkitty 12.5 %:n, 50 %:n ja 87.5 %:n persentiilien tehopainosuhteearvot.



Kuva 44: Porvoon Ritassa valtatie 7:llä 22.8.1990 klo 5.30-20.00 havaittujen kuorma-autojen tehopainosuhteet kuorma-autojen kokonaispainon suhteen. Kuvaan on merkitty ympyrällä ne havainnot, jotka jätettiin pois aineistosta, kun muodostettiin tehopainosuhdetta kuorma-auton kokonaispainon avulla selittävä malli (yhtenäinen viiva).



Kuva 45: Kuorma-auton tehopainosuhte kokonaispainon suhteen Ritän havaintoaineistoon sovitetun mallin perusteella.

7.2 Ajoneuvorekisterin tiedot

Valtion tietokonekeskukselta tilattiin sekä vuonna 1983 että vuonna 1990 käyttöönotettujen kuorma-autojen tehot ja vastaavat kokonaispainot. Tavoitteena oli verrata vuonna 1983 ja 1990 käyttöönotettujen tehopainosuhteita, jotta saataisiin kuva, mihin suuntaan kuorma-autojen tehopainosuhteet ovat kehittyneet vuoden 1990 alusta voimaan tulleiden painomääräysten valossa. Vertailuvuodeksi valittiin vuosi 1983, koska yli 91 %:lle tällöin käyttöönotetuis-

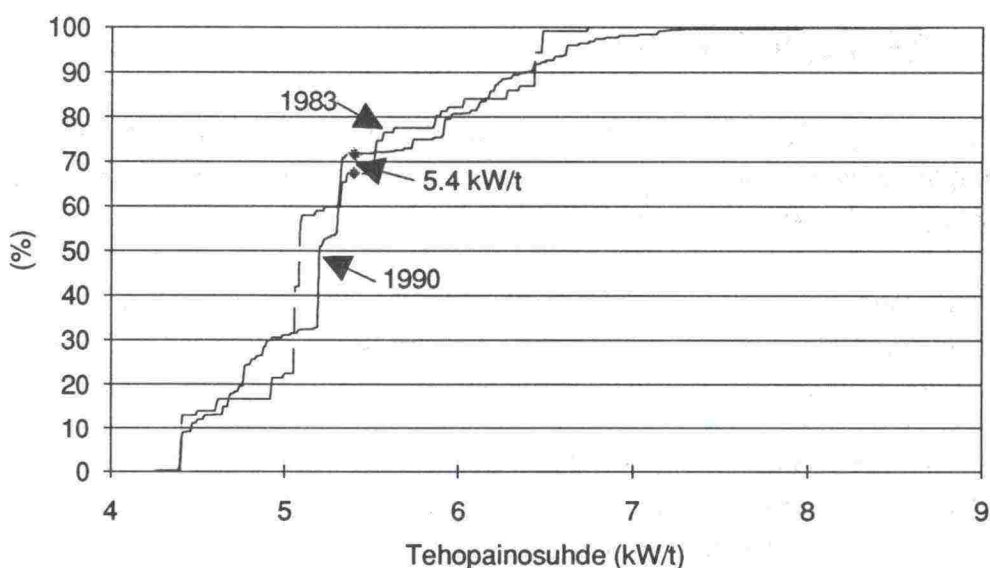
ta kuorma-autoista moottorin tehotieto on merkitty ajoneuvorekisteriin, kun vuoden 1982 vastaava luku on 58 % (liite 1).

Ajoneuvorekisterissä jokaisen kuorma-auton kokonaispainoksi on merkitty itse vetoauton kokonaispaino. Kuorma-autoyhdistelmien suurin sallittu kokonaispaino on kirjattu rekisteriin nimikkeillä "yhdistelmän sallittu kokonaispaino" (erilliskytkenä) ja "yhdistelmän suurin kokonaispaino" (ristiinkytkenä). Yhdistelmän suurimpaan sallittuun kokonaispainoon vaikuttavat monet eri tekijät /Kuorma-autojen ... 1990/:

- tehtaan sallima akselipaino,
- ajoneuvossa käytettävä rengaskoko
- telin mitoitus
- telissä käytetty jousitus(ilma-/lehtijousi)
- kytkentäsääntö
- siltasääntö
- tehovaatimus.

Käytännössä ajoneuvoasetuksen tehovaatimus on erittäin harvoin yhdistelmän kokonaispainoa rajoittava tekijä. Siten kun verrataan eri vuosina käyttöön otettujen kuorma-autojen tehopainosuhteiden jakautumia, jotka on laskettu suurimman sallitun kokonaispainon perusteella, saadaan kuva kuorma-autojen tehopainosuhteen kehityksen suunnasta. Käytännössä itse tehopainosuhteiden arvot ovat erilaisia, koska kuorma-autojen kuormausaste vaihtelee.

Vuonna 1990 oli otettu käyttöön 3338 kuorma-autoa syyskuun loppuun mennessä. Vuonna 1983 käyttöön otettuja kuorma-autoja oli samanaikaisesti rekisterissä 3717. Ajoneuvorekisteriin oli merkitty vuonna 1983 käyttöön otetuista kuorma-autoista tieto yhdistelmäpainosta 106 kuorma-auton (2.9 %) kohdalle. Vastaava luku vuonna 1990 käyttöön otettujen kuorma-autojen kohdalla oli 546 (16.4 %). Koska kuorma-autoyhdistelmien osuus kuorma-autokannasta on n. 36 % /Kuorma-autoliikenne ... 1990/, ovat ajoneuvorekisterin tiedot puutteelliset. Kuvaan 46 on piirretty rekisteristä saatujen tietojen perusteella kuorma-autoyhdistelmien (KAPP + KATP) tehopainosuhteiden jakautumat, jotka on laskettu rekisteriin merkityn suurimman sallitun kokonaispainon perusteella, vuosina 1983 ja 1990.



Kuva 46: Vuosina 1983 ja 1990 käyttöönotettujen kuorma-autoyhdistelmien tehopainosuhteiden jakautumat ajoneuvorekisterin tietojen perusteella.

Vuonna 1990 käyttöönotettujen kuorma-autoyhdistelmien tehopainosuhteiden keskiarvo oli 5.34 kW/t, kun vastaava luku vuodelta 1983 oli 5.30 kW/t. Vuonna 1983 käyttöönotetuista kuorma-autoyhdistelmistä 56 oli muutostastettu 56 tonnin kokonaispainolle, kun aikaisemmin näiden yhdistelmien suurin sallittu kokonaispaino on ollut korkeintaan 48 tonnia. Tämä muutos alentaa vastaavasti näiden yhdistelmien tehopainosuhteita. Vuonna 1990 käyttöönotetuista kuorma-autoyhdistelmistä 71.6 % alitti ohituskaistojen suunnittelussa käytettävän mitoitusaajoneuvon tehopainosuhteen (5.4 kW/t), kun tehopainosuhte on laskettu ajoneuvorekisteriin merkityn suurimman sallitun kokonaispainon perusteella. Vuoden 1990 rekisteritiedoissa 8.6 %:lla kuorma-autoyhdistelmistä tehopainosuhte oli 4.4 kW/t, joka on ajoneuvoasetuksen tehopainosuhtevaatus.

Ajoneuvorekisterin tietojen perusteella vuosina 1983 ja 1990 käyttöönotettujen kuorma-autoyhdistelmien tehopainosuhteiden jakautumat ovat hyvin samankaltaiset. Koska varsinkin rekisterin vuoden 1983 tiedot perustuvat pieneen osaan tänä vuonna käyttöönotetuista kuorma-autoyhdistelmistä, ei tehopainosuhteen kehityksestä voida tehdä varmoja johtopäätöksiä. Lisäksi vuonna 1983 käyttöönotettuja kuorma-autoyhdistelmiä on muutostastettu 56 tonnin kokonaispainoon.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomessa ja Ruotsissa sallitaan ajoneuvoille suuremmat kokonaispainot ja pituudet kuin muualla Euroopassa. Nämä määräykset joutunevat jatkossa kriittisen tarkastelun kohteiksi.

Täysperävaunullisten kuorma-autojen liikennesuorite on kasvanut muita ajoneuvoryhmiä voimakkaammin. Tämän vaikutukset muuhun liikenteeseen ja liikennesuunnittelun menetelmiin on jatkossa syytä selvittää. Varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen tehopainosuhteet ovat pienempiä kuin muilla ajoneuvoryhmillä ja siten niiden suorituskyky liikenteessä on muita ajoneuvoryhmiä alhaisempi. Tällä on vaikutusta mm. liittymien välityskykyyn, jonoutumiseen ja nousukaistojen tarpeeseen.

Nykyiset liikennesuunnittelun menetelmät eivät ota huomioon eri ajo-neuvo-tyyppjä, vaan raskaiden ajoneuvojen vaikutuksen arviointi perustuu niiden osuuteen liikennevirrasta. Raskaan liikenteen prosenttiosuuden vaikutukset ovat erilaiset sekä paikallisesti että ajallisesti, koska raskaan liikenteen koostumus vaihtelee ja kuorma-autojen mitta- ja painomääräykset muuttuvat. Jatkossa on syytä selvittää, missä tilanteissa on tarpeen käyttää eri ajoneuvo-tyypeille ja liikennetilanteille johdettuja vastaavuuskertoimien arvoja.

Kuorma-autojen mitta- tai painomääräysten muuttaminen vaikuttaa liikenne-olosuhteisiin, teiden rakennevaatimuksiin, kunnossapitoon ja liikenneturvalli-suuteen. Koska tiedot kuorma-autotyyppien määristä ja ominaisuuksista sekä vaikutuksista ovat osin puutteellisia ja hankalasti hyödynnettävissä, joudutaan kuorma-autojen vaikutustarkastelut muuhun liikenteeseen tekemään riittämät-tömän tiedon perusteella. Myös ympäristön tarkasteluihin tarvitaan monipuoli-sempia tietoja raskaasta liikenteestä, joten raskaan liikenteen vaikutusten ar-viointia varten on syytä kehittää tarkempia liikennemalleja. Nykyiset tietoläh-teet ja tiedontarve on kartoitettava sekä laadittava parannusehdotukset tiedon keräyksen ja sen analysoinnin kehittämiseksi.

Tämän esiselvityksen perusteella nähdään tarpeellisiksi seuraavat jatkotutki-mukset:

- raskaan liikenteen tehopainosuhteiden selvittäminen liikennevirrassa laajem-pana otoksena
- onko olemassa käytännön asettamaa tehopainosuhterajaa, johon raskaiden ajoneuvojen tulisi yltää eri tyyppisillä teillä
- raskaan liikenteen vastaavuuskertoimien arvojen ja soveltamistavan muutos-tarpeen arviointi
- tielaitoksen automaattisen mittausjärjestelmän (LAM) hyödyntäminen raskaan liikenteen vaikutusten arvioimisessa
- raskaan liikenteen vaikutus liikenneturvallisuuteen.

9 KIRJALLISUUSLUETTELO

A policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Washington. 1984.

Aerde, M., V., Yagar, S., Capacity, speed and platooning vehicle equivalents for two-lane rural highways. Transportation Research Board, Transportation Research Record 971. Washington, D.C.. 1984.

Akselipainotutkimukset 1966, 1971, 1976, 1982, 1984 ja 1986. Tie-ja vesirakennushallitus, liikennetoimisto. Helsinki.

Autojen nopeudet pääteillä vuonna 1989. Tielaitos, tutkimuskeskus. Helsinki. 1990.

Beräkning av kapacitet, kölängd, fördröjning i vägtrafikanläggningar. Statens vägverk. TV 131. Stockholm. 1977.

Botma, H., Traffic operation on busy two-lane rural roads in the Netherlands. Transportation Research Board, Transportation Research Record 1091. Washington, D.C.. 1986.

Carlsson, G., Restidmodell för tunga fordon. Väg- och vattenbyggaren nro 5/1975.

Crowley, K., W., Krammes, A., K., Passenger car equivalents for trucks on level freeway segments. Transportation Research Board, Transportation Research Record 1091. Washington, D.C.. 1986.

Enberg, Å., Köbildning på tvåfältsvägar. Diplomarbetet. Tekniska högskolan, trafikteknik. Otaniemi. 1988.

Evans, L., Rothery, R., W., Influence of vehicle size and performance on intersection saturation flow. General Motors research laboratories. The eight international symposium on transportation and traffic theory. Toronto. 1981.

Färdtekniska grundvärden och linjeföring. Vägverket, utvecklingssektionen. TV meddelande 1983:4. Borlänge. 1983.

Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 209. Washington, D.C.. 1985.

Hutchinson, G., Green, R., Haas, R., C., G., Large truck impacts on highway transportation systems. IRF proceedings volume VI. Seoul, Korea. 1989.

Impacts of heavy freight vehicles. OECD, Road Research. Paris. 1983.

Kaksiajokaistaisen tien liikenteenvälityskyky. Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnitteluosaston teknistaloudellinen toimisto. Helsinki. 1973.

Kaksikaistaisen tien liikenteellinen palvelutaso, laskentaohje. Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnittelutoimisto. Helsinki. 1986.

Kaksikaistaisten teiden liikennevirran perusominaisuudet. Tekninen korkeakoulu, liikennelaboratorio. Tie- ja vesirakennushallitus, liikennetoimisto. Helsinki. 1985.

KEHAR 2.0, käyttäjän käsikirja. Tielaitos, tiehallitus, kehittämiskeskus. Helsinki. 1990.

Kivelä, M., Pursula, M., Valo-ohjauksisen tasoliittymän välityskyky ja viivytyslaskelmat, ruotsalainen menetelmä. Helsingin teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka. Opetusmoniste 1. Otaniemi. 1982.

Koskinen, O., H., Haastattelu liikenneministeriössä 6.6.1990.

Kuorma-autojen suurimmat sallitut mitat ja painot Suomessa. Suomen kuorma-autoliitto ry, kuljetustekninen osasto. 1.1.1990.

Kuorma-autokuljetusten taloudellisuuden parantamismahdollisuudet. Pohjoismaiden tieteknillinen liitto, osastojaosto 11, tieliikennetalous. Raportti nro 10. Helsinki. 1980.

Kuorma-autoliikenne Suomessa. Suomen kuorma-autoliitto ry, kuljetustekninen osasto. 1.1.1990.

Lampinen, R., Ylikuormakulttuuri ja kilpailukyky. Kuljetus nro 10/1989.

Liikenne ja väylät I. Suomen rakennusinsinöörien liitto, RIL 165-1. Helsinki. 1987.

Liikenne- ja autokantaennuste 1989-2010. Tie- ja vesirakennushallitus, suunnitteluosasto, tutkimuskeskus. Helsinki. 1989.

Liikennetilastollinen vuosikirja. Tilastokeskus. Liikenne 1990:21. Helsinki. 1990.

Liikenteen matka-aikoja ja nopeutta kaksikaistaisilla teillä koskevat mallit. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 448. Espoo. 1984.

Lunda'n, J., Kuorma-autoliikenteen kapasiteetti. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, tuotantotalouden laitos. Lappeenranta. 1985.

Lyly, S., 7.71.145 liikennevirran ominaisuudet. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka.

Lyly, S., Tien liikenteenvälityskyky - Highway Capacity Manual 1985. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka. Julkaisu 68. Otaniemi. 1990.

Mahmassani, H., S., Kim, Y., G., Effect of traffic mix, volume and geometrics on trip time of passenger cars and trucks on urban freeways. Transportation Research Board. Transportation Research Record 1112. Washington, D.C.. 1987.

Mittojen ja painojen yhdenmukaistaminen vasta alussa. Ammattiautoilija nro 6/1989.

Moottoriajoneuvot 1988. Tilastokeskus. Liikenne 1989:17. Helsinki. 1989.

Nabil, K., Safwat, A., Walton, C., M., Expected performance of longer combination vehicles on highway grades. Transportation Research Board. Transportation Research Record 1055. Washington, D.C.. 1986.

Ohituskaistatutkimus valtatiellä 3. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 531. Espoo. 1986.

Ohituskaistojen suunnittelu. Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnittelutoimisto. Helsinki. 1985.

Providing access for large trucks. Transportation Research Board. National Research Council. Special report 223. Washington, D.C.. 1989.

Smith, B., L., Existing design standard. Transportation Research Board. Transportation Research Record 1052. Washington, D.C.. 1986.

Summala, H., Hietamäki, J., Lehtikainen, A., Töttölä, K., Viermaa, J., Tien välityskyky ja matkanopeudet pitkillä tieosilla. Helsingin yliopisto, liikennetutkimusyksikkö. Tutkimuksia 7:1986. Helsinki. 1986.

Summala, H., Valtatie 3:n ruuhkatutkimus 1984. Helsingin yliopisto, liikennetutkimusyksikkö. Tutkimuksia 1:1985. Helsinki. 1985.

Söderlund, J., Kaksikaistaisen tien liikenteenvälityskyky ja palvelutaso. Liikenne nro 2/1985.

Tampereen teknillinen korkeakoulu, tie- ja liikennetekniikka. Kuorma-autokantatiedosto. Julkaisematon aineisto.

Tieliikenteen tavarankuljetustilastot 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987. Tie- ja vesirakennushallitus, talousosasto, tutkimustoimisto. Helsinki.

Tieliikenteen tavarankuljetustilasto 1989. Tiehallitus. Tielaitoksen tilastoja 1/1990. Helsinki. 1990.

Tietoja yleisistä teistä 1979-1988. Tie- ja vesirakennushallitus, tutkimustoimisto. Helsinki. 1979-1988.

Trafikleder på landsbygd. Statens vägverk. 1981.

Twin trailer trucks. Transportation Research Board. National Research Council. Special report 211. Washington, D.C.. 1986.

Yleiset tiet 1.1.1989-1.1.1991. Tielaitos. Tielaitoksen tilastoja. Helsinki. 1989-1991.

Yleisten teiden tasoliittymien valo-ohjaus, ohjaustoiminnot ja fyysiset järjestelyt. Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnittelutoimisto. Insinööritoimisto Y-suunnittelu. Helsinki. 1988.

Vuosikertomus 1989. Tie- ja vesirakennuslaitos. Forssa. 1990.

10 LIITE

Kuorma-autot käyttöönottovuosittain

Vuosi	Käyttöönotetut yhteensä (kpl)	Tehotiedot selvillä	
		kpl	Osuus (%)
1990	2754	2690	97.7
1989	4773	4569	95.7
1988	4230	4023	95.1
1987	4035	3824	94.8
1986	3676	3496	95.1
1985	3619	3410	94.2
1984	3727	3483	93.5
1983	3823	3482	91.1
1982	3730	2151	57.7
1981	4006	1533	38.3
1980	3921	1545	39.4
1979	3157	1146	36.3
1978	2475	876	35.4
1977	2118	679	32.1
1976	1957	494	25.2
1975	1744	432	24.8
1974	1495	328	21.9
1973	907	147	16.2
1972	634	88	13.9
1971	514	64	12.5
1970	410	33	8.0

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 16/1991 Paristotyyppin ja ympäristön lämpötilan vaikutus varoitusvilkun toimintaan. TIEL 3200014
- 17/1991 The Effect of Battery Type and Ambient Temperature on the Operation of Warning Flashers. TIEL 3200015E
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 19/1991 Liikennetunnelien kuivatus- ja lämpöeristysrakenteet. TIEL 3200018
- 20/1991 Kunnossapidon tuloksen mittaus. TIEL 3200019
- 21/1991 Tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. TIEL 3200020
- 22/1991 Tiekohtaiset nopeusrajoitukset ja onnettomuudet 1984 - 1988. TIEL 3200021
- 23/1991 Kiertoliittymät ja niiden välityskyky. TIEL 3200022
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tierakenteen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet. TIEL 3200024
- 26/1991 Joukkoliikenne; Kirjallisuusselvitys ja -referaatit. TIEL 3200025
- 27/1991 Kauhavan taajamatien saneerauksen vaikutukset. TIEL 3200026
- 28/1991 Kuormausrjäestelyt teiden kunnossapidossa. TIEL 3200027
- 29/1991 Collisions with Road Structures and Appurtenances. TIEL 3200028E
- 30/1991 Tien hoitoajoneuvojen vahinkotutkimus. TIEL 3200029
- 31/1991 Polttoaineen hinnannousun vaikutus autonkäyttöön. TIEL 3200030
- 32/1991 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1991. TIEL 3200031
- 33/1991 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201921-91
- 34/1991 Hankasalmen ja Kauhavan taajamakuvatarkastelu. TIEL 3200032
- 35/1991 Tietullit ja kiinteät tienkäyttömaksut, optimaalinen maksujärjestelmä tieliikennesektorille. TIEL 3200033
- 36/1991 Kansalaisten osallistuminen tiensuunnitteluun; Muurla-Lohjanharju vaihtoehtoselvityksen arviointi. TIEL 3201870
- 37/1991 Rautatien tasoristeysonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201870
- 38/1991 Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1991
- 39/1991 Mittausautomaation hyödyntäminen maarakennuskoneiden ohjauksessa. TIEL 3200035
- 40/1991 Ramppiohjausselvitys. TIEL 3200036
- 41/1991 Ramps Metering Review. TIEL 3200037E

ISBN 951-47-4993-6
ISSN 0788-3722
TIEL 3200038